



---

**LAPORAN SKRIPSI – ME 141501**

**PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN ATAU LEDAKAN KAPAL OIL  
TANKER SAAT PERBAIKAN**

**FAHREZA YOSI ANDRAPUTRA**

**NRP 4211 100 067**

Dosen Pembimbing :

Dr. Trika Pitana ST. M.Sc

Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



---

**FINAL PROJECT - 141501**

**RISK ASSESSMENT OF FIRE/EXPLOSION ABOARD OIL  
TANKERS DURING SERVICE**

**FAHREZA YOSI ANDRAPUTRA**

**NRP 4211 100 067**

**Supervisors :**

**Dr. Trika Pitana ST. M.Sc**

**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**

**Faculty of Marine Technology**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2015**

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN ATAU LEDAKAN KAPAL OIL TANKER SAAT PERBAIKAN

### SKRIPSI

Diajukan Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability  
dan Safety (RAMS)*  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**FAHREZA YOSI ANDRAPUTRA**  
NRP 4211 100 067

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**1. Dr. Trika Pitana ST. M.Sc.**

**2. DR. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**



SURABAYA  
JULI, 2015

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN ATAU LEDAKAN KAPAL OIL TANKER SAAT PERBAIKAN

### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Bidang Studi *Reliability, Availability, Maintainability  
dan Safety (RAMS)*  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**FAHREZA YOSI ANDRAPUTRA**  
NRP 4211 100 067

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

**DR. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng.**



SURABAYA  
JULI, 2015

# **PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN ATAU LEDAKAN KAPAL OIL TANKER SAAT PERBAIKAN**

**Nama Mahasiswa : Fahreza Yosi Andraputra**  
**NRP : 4211100067**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen pembimbing :**  
**1. Dr. Trika Pitana ST. M.Sc.**  
**2. DR. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.**

## **Abstrak**

*Kapal tanker ialah kapal yang dirancang untuk mengangkut minyak atau produk turunannya. Jenis utama kapal tanker diantaranya ialah tanker minyak (oil tanker), tanker kimia (chemical tanker), pengangkut LPG maupun LNG yang termasuk pembawa gas alam cair. Apabila sebuah kapal tanker beroperasi, hampir seluruh waktunya adalah berbahaya. Baik berbahaya bagi jiwa manusia di kapal itu maupun bahaya adanya pencemaran lingkungan. Dari data KNKT tahun 2007-2008 11% diantara kecelakaan dilaut didominasi oleh kapal jenis tanker dimana lebih spesifiknya dalam kurun dua tahun saja terjadi 12 kecelakaan kapal tanker. sedangkan dari type kecelakaannya 21% dengan type kecelakaan terbakar/meledak. Oleh karena itu dalam paper ini akan menganalisa resiko kebakaran/meledak dari kapal tanker. Sehingga akan sedikit berguna nantinya untuk menekan angka kecelakaan di tahun-tahun berikutnya. Tujuan dari tugas akhir ini adalah dapat mengetahui seberapa besar tingkat bahaya kapal pada saat perbaikan(pekerjaan hot work), dapat melakukan mitigasi apabila tingkat risiko yang akan terjadi pada daerah yang tidak dapat diterima, Mendapatkan rekomendasi SOP pada saat melakukan perbaikan. Dimana langkah awal ialah mengidentifikasi adanya bahaya kebakaran/ledakan ketika hendak melakukan pekerjaan panas (hot work) menggunakan hazid. Setelah*

*bahaya-bahaya tersebut teridentifikasi maka dicari frekuensi kejadian dari bahaya tersebut menggunakan FTA dilanjutkan dengan ETA untuk mengetahui nilai dari pengurangan risiko. Sedangkan untuk mengetahui konsekuensi dari kebakaran/ledakan dikapal tepatnya yang ditinjau ialah diengine room dan cargo tank menggunakan software ALOHA. Setelah nilai frekuensi didapat dari FTA dan jumlah korban yang terkena dampak kebakaran/ledakan diketahui berdasarkan penyebaran fire/explosion dari software ALOHA maka risk criterianya berdasarkan DNV 2003. Dari hasil Tugas Akhir yang dikerjakan peluang terjadi ledakan dikamar mesin yakni sebesar  $1,07\text{E-}08$  sedangkan peluang terjadi ledakan dicargo tank yakni sebesar  $7,74\text{E-}09$ . Dengan jumlah korban yang terkena dampak di kamar mesin saat terjadi kebakaran/ledakan karena hot work sebanyak 2 orang, sedang di cargo tank sebanyak 2 orang. Sehingga berdasarkan DNV 2003 berada pada daerah low risk yakni daerah yang dapat diterima, baik di engine room maupun dicargo tank.*

**Kata Kunci :**

***Analisis Risiko, FTA, ETA, ALOHA, Risk Matrix IMO  
MSC/Circ.1023, DNV 2003***

# **RISK ASSESSMENT OF FIRE/EXPLOSION ABOARD OIL TANKERS DURING SERVICE**

**Student Name** : Fahreza Yosi Andraputra  
**NRP** : 4211100067  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor** :  
1. Dr. Trika Pitana ST. M.Sc.  
2. DR. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

## ***Abstract***

*The tanker vessel is a ship designed for transporting oil or its derivative. The main types of tankers are oil tankers, chemical tanker, LPG tanker, and LNG tanker including liquefied natural gas carrier. When a tanker operations, almost all the time is dangerous. Neither harmful to human in the ship or the danger of environmental pollution. Data from KNKT 2007-2008 11% between accidents at sea are dominated by tanker ship types in which, more specifically within two years only happened 12 tanker ship accidents. Whereas 21% of type accident is fire/explosion accident type. Therefore in this paper will analyze the risk of fire/explosion of tankers. So it will be a little useful later to reduce the number of accident in subsequent years. The purpose of this thesis is able to know how big the danger of the ship while repair (hot work), it can mitigate if the level of risk that will occur in areas that cannot be accepted, getting recommendation SOP when making repairs. Where in the first step is to identified the danger of fire/explosion when they wanted to do hot work using hazid. After the hazards are identifying then searched frequency of occurrence of these hazards using the FTA continued with ETA to know the value of risk reduction. As for knowing the consequences of a fire / explosion onboard exactly which terms are in engine room and cargo tank using ALOHA software. Once the frequency value obtained from the FTA and the*

*number of victims affected by the fire/explosion known by the spread of fire/explosion of the ALOHA software and the risk criteria based on DNV 2003. From the result of final project undertaken opportunities explosion in engine room which is equal to  $1,07\text{E-}08$  as well as opportunities explosion in cargo tank which is equal to  $7,74\text{E-}09$ . With the sheer number of victims in the engine room during a fire/explosion due to hot work as much as 2 people, being in the cargo tank as much as 2 people. So based on the DNV 2003 risk in engine room in the region of acceptable, and while the risk in cargo tanks in the region of acceptable.*

**Keywords:**

***Risk Analysis, FTA, ETA, ALOHA, Risk Matrix IMO MSC/Circ.1023,***



# Kata Pengantar

Allhamdulillah puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan anugrahnya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya yang berjudul “**PENILAIAN RISIKO KEBAKARAN ATAU LEDAKAN KAPAL OIL TANKER SAAT PERBAIKAN**” skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan saya di program sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses pengerjaannya tidak terlepas dari bantuan dan dukungan semua pihak yang terkait. Oleh karenanya penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan anugrahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik
2. Kedua orang tua penulis yakni, Bapak Yoni Junaidi dan Ibu Farida Susiati yang selalu mendoakan dengan tulus dan tak henti-hentinya agar penulis diberi kelancaran, petunjuk dan kesuksesan dalam proses pengerjaannya serta selalu memberikan dukungan dan motivasi setiap saat sehingga penulis dapat terus berusaha dalam proses penyelesaian skripsinya. Serta kepada adik Faisal, Kakak Firninda serta Nenek yang juga terus mendoakan dan mensupport penulis.
3. Bapak Dr. Trika Pitana ST. M.Sc selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membantu dan mendidik penulis dalam mengembangkan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Ilmu dan pengalamannya yang telah Bapak berikan akan selalu teringat semoga suatu saat nanti

penulis dapat membalas budi meskipun tidak akan sebanding dengan apa yang telah Bapak berikan

4. DR. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak membantu penulis dalam mengembangkan dan menyelesaikan skripsi ini. Ilmu dan pengalaman yang telah Bapak berikan akan selalu penulis ingat dan mudah-mudahan suatu saat nanti penulis bisa membalas meskipun tidak akan sebanding dengan apa yang telah Bapak berikan.
5. A.A.B. Dinariyana D.P. ST, MES, Ph.D. selaku Kepala Laboraturium RAMS, yang telah banyak membantu penulis atas nasihat-nasihat, bimbingan dan motivasi dari Bapak selama penulis berada di Lab. RAMS.
6. Bapak Prof Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc, Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, Bapak Dr. Dhimas Widi Handani ST, MMST, dan Bapak Dr. Raja Oloan Saut Gurning, S.T,M.Sc sebagai dosen pendidik di lab RAMS.
7. Teman-teman seperjuangan Wisuda 112 di Lab RAMS, Satria, Good, Alfin, Galih, Hayi, Pujo, Baroq, Andika, Napit, Dini, Emmy, Iqba, Ucik, Putri happy. Terimakasih atas waktu kebersamaan yang telah diluangkan baik senang maupun susah, semoga ini menjadi langkah awal kita yang baik dalam menggapai cita-cita masing-masing dari kita.
8. Teman-teman amphibi 11, yang telah memberikan kesan luar biasa selama empat tahun kuliah di sini. Terimakasih juga kepada Habib yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam pengerjaannya. Serta ayah dari atma, Bagus H, Om Sugeng yang membantu dalam referensi tugas akhir ini. Semoga kedepan kita semua tetap dapat menjalin hubungan baik mempererat tali persaudaraan yang telah kita jalin selama 4 tahun ini.

9. Teman-teman seperjuangan dilab rams Windy, Andre, Imam, Arif, Yudho, Bimo, Tsani, kiky yang selalu cerita keluh kesah dan saling memberi motivasinya.
10. Teman-teman yang ada di Lab RAMS angkatan 2012, Mas Dwi, Mbak Dhila, Mas Ghofur
11. Teman-teman spenlusa, smagalas, dan yang terutama FM.Sa kalian membuat motivasi bagi penulis untuk tetap memperjuangkan menyelesaikan studynya, serta membuat penulis merasa ingin seperti kalian. Terlebih FM.Sa membuat penulis ingin sekali meraih wisuda disaat yang sama. Terimakasih....
12. Juga tidak lupa kepada semua pihak yang belum bisa disebutkan satu per satu disini yang telah mendoakan serta membantu proses pengerjaan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan didalamnya. Sehingga dengan hormat dan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Surabaya, Juli 2015

# Daftar Isi

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>xi</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xv</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Tujuan Skripsi.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Manfaat Skripsi.....</b>	<b>7</b>
<b>BAB II Tinjauan Pustaka.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Pengertian Umum .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Risk Assessment .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Hazard Identification.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1 HAZID .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Analisa Frekuensi.....</b>	<b>13</b>
2.4.1 FTA (Fault Tree Analysis) .....	13
2.4.2 ETA (Event Tree Analysis).....	18

<b>2.5 Analisa Konsekuensi</b> .....	19
<b>2.6 Evaluasi Resiko</b> .....	21
2.6.1 Risk Matrix .....	21
<b>2.7 HEART</b> .....	23
<b>2.8 Flash Fire</b> .....	23
<b>2.9 Ledakan</b> .....	24
<b>2.10 Fire</b> .....	24
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	27
<b>3.1 Pendahuluan</b> .....	27
<b>3.2 Penjelasan</b> .....	30
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN..</b>	33
<b>4.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah</b> .....	33
<b>4.2 Hazard Identification (HAZID)</b> .....	39
4.2.1 Risk Scenario .....	49
<b>4.3 Analisa Frekuensi (<i>Frequency Analysis</i>)</b> .....	49
4.3.1 Fault Tree analysis in engine room .....	54
4.3.2 Event Tree analysis in engine room .....	64
4.3.3 Faul Tree analysis in Cargo area .....	72
4.3.2 Event Tree analysis in Cargo Tank .....	77
<b>4.4 Analisa Konsekuensi</b> .....	80
4.4.1 Konsekuensi Kebakaran/Ledakan Di Kamar Mesin(Engine Room) .....	81
4.4.2 Konsekuensi Kebakaran/Ledakan Di Ruang Cargo( <i>Cargo Area</i> ) .....	97
<b>4.5 Evaluasi Risiko</b> .....	110

10.5.1	Penilaian Risiko Kebakaran/Ledakan Di Kamar Mesin(Engine Room) .....	111
10.5.2	Penilaian Risiko Kebakaran/Ledakan Di Ruang Cargo(Cargo Area) .....	115
<b>4.6</b>	<b>Risk Control .....</b>	<b>118</b>
4.6.1	Merencanakan Hot Work .....	119
4.6.2	Persiapan Untuk Melakukan Hot Work .....	120
4.6.3	Hot Work pada Perpipaan .....	120
4.6.4	Officer yang Bertanggung Jawab untuk Keamanan dari Pekerjaan Panas (Hot Work).....	120
<b>BAB V</b>	<b>Kesimpulan dan Saran .....</b>	<b>123</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>123</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>124</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>125</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>127</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....		<b>131</b>

# Daftar Tabel

Tabel 1. 1. Berdasarkan Jenis kapal .....	2
Tabel 1. 2 Berdasarkan Type Accident.....	3
Tabel 1. 3 Sampel beberapa kasus .....	3
Tabel 1. 4 operating condition at time of accident.....	5
Tabel 2. 1 Typical Work Sheet for HAZID .....	13
Tabel 2. 2 FTA symbol (sumber: Dwi Priyanta 2000 ).....	16
Tabel 2. 3 Fault tree gate symbol (sumber : Svein kristiansen) .....	17
Tabel 2. 4 Severity Index .....	22
Tabel 2. 5 Frequency Index .....	22
Tabel 2. 6 Risk Index .....	23
Tabel 4. 1 Hazid worksheet in Engine Room .....	40
Tabel 4. 2 Hazid worksheet in Cargo Tank .....	45
Tabel 4. 3 Kategori Generic Task dalam metode HEART (Williams 1986) .....	56
Tabel 4. 4. Error Producing Condition (Williams 1986) .....	57
Tabel 4. 5 Menentukan Nilai HEP di kamar mesin .....	61
Tabel 4. 6 Menentukan Nilai HEP di Cargo tank .....	74
Tabel 4. 7 Definisi frequency (sumber:Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway) .....	113
Tabel 4. 8 Definisi severity (sumber:Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway) .....	114
Tabel 4. 9 Risk matrix (sumber:Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway) .....	115

Tabel 4. 10 Risk Matrix dikamar mesin.....	115
Tabel 4. 11 Risk Matrix diCargo tank.....	118



# Daftar Gambar

Gambar 1. 1 Rekap data kecelakaan laut KNKT tahun 2007-2008 (sumber: KNKT) .....	2
Gambar 1. 2 Rekap data kecelakaan laut KNKT tahun 2007-2008 (sumber: KNKT) .....	3
Gambar 2. 1 Risk Assessment Method .....	12
Gambar 2. 2 Fault tree diagram sederhana untuk api.....	18
Gambar 2. 3 Event Tree diagram sederhana .....	19
Gambar 2. 4 ALOHA.....	20
Gambar 2.5 segitiga api .....	24
Gambar 4. 1 General Arrangement Kapal .....	34
Gambar 4. 2 segitiga api (sumber:FSRA HM Government). 35	
Gambar 4. 3 flammability composition diagram .....	36
Gambar 4. 4 tanktop.....	37
Gambar 4. 5 platform deck plan.....	38
Gambar 4. 6 tween deck plan.....	38
Gambar 4. 7 diagram FTA untuk di kamar mesin .....	54
Gambar 4. 8 langkah kualifikasi HEART .....	59
Gambar 4. 9 diagram hasil FTA di kamar mesin .....	63
Gambar 4. 10 Event tree of fire/explosion dikamar mesin ...	64
Gambar 4. 11 hasil Event tree of fire/explosion incident.....	70
Gambar 4. 12 Diagram FTA di cargo tank .....	72
Gambar 4. 13 diagram hasil FTA di Cargo tank.....	76
Gambar 4. 14 Diagram Event tree of fire/explosion dicargo tank.....	77
Gambar 4. 15 hasil Event tree of fire/explosion dicargo tank	79
Gambar 4. 16 Hasil ALOHA Scenario 1A .....	82
Gambar 4. 17 Ledakan scenario 1A.....	83
Gambar 4. 18 Kebakaran scenario 1A .....	84

Gambar 4. 19 Ledakan Scenario 1B .....	85
Gambar 4. 20 Kebakaran scenario 1B .....	86
Gambar 4. 21 Ledakan scenario 1C .....	87
Gambar 4. 22 Kebakaran scenario 1C .....	89
Gambar 4. 23 Ledakan scenario 1D .....	90
<i>Gambar 4. 24 ALOHA scenario 2A .....</i>	<i>91</i>
Gambar 4. 25 Ledakan scenario 2A.....	92
<i>Gambar 4. 26 Ledakan scenario 2B .....</i>	<i>93</i>
Gambar 4. 27 Ledakan scenario 2C .....	95
Gambar 4. 28 Ledakan scenario 2D.....	96
Gambar 4. 29 cargo tank scenario 1A.....	98
Gambar 4. 30 Hasil berdasarkan ALOHA scenario 1B .....	99
Gambar 4. 31 Cargo tank scenario 1B .....	100
Gambar 4. 32 Cargo tank scenario 1C .....	101
Gambar 4. 33 Cargo tank scenario 1D .....	102
Gambar 4. 34 Cargo tank scenario 1E .....	103
Gambar 4. 35 Cargo tank scenario 2A.....	105
Gambar 4. 36 Cargo tank scenario 2A.....	106
Gambar 4. 37 Cargo tank scenario 2C .....	107
Gambar 4. 38 Cargo tank scenario 2D .....	108
Gambar 4. 39 Cargo tank scenario 2E .....	109
Gambar 4. 40 hasil (FI) di kamar mesin .....	112
Gambar 4. 41 hasil (SI) di engine room.....	112
Gambar 4. 42 hasil (RI) di kamar mesin.....	113
Gambar 4. 43 hasil (FI) di cargo tank .....	116
Gambar 4. 44 hasil (SI) di cargo tank .....	117
Gambar 4. 45 hasil (RI) di kamar mesin.....	117

# **BAB I**

## **Pendahuluan**

### **1.1 Latar Belakang**

Kapal tanker ialah kapal yang dirancang untuk mengangkut minyak atau produk turunannya. Jenis utama kapal tanker diantaranya ialah tanker minyak (*oil tanker*), tanker kimia (*chemical tanker*), pengangkut LPG maupun LNG yang termasuk pembawa gas alam cair.

Kapal tanker dapat melakukan proses bongkar muatan lebih cepat dibandingkan dengan kapal jenis lain seperti kapal cargo maupun kapal container, sehingga waktu yang diperlukan untuk sandar dipelabuhan lebih sedikit. Kapal tanker secara khusus memiliki resiko terhadap bahaya kebakaran dan ledakan serta bahaya polusi akibat dari sifat muatan yang dibawanya.

Apabila sebuah kapal tanker beroperasi, hampir seluruh waktunya adalah berbahaya. Baik berbahaya bagi jiwa manusia di kapal itu maupun bahaya adanya pencemaran lingkungan.

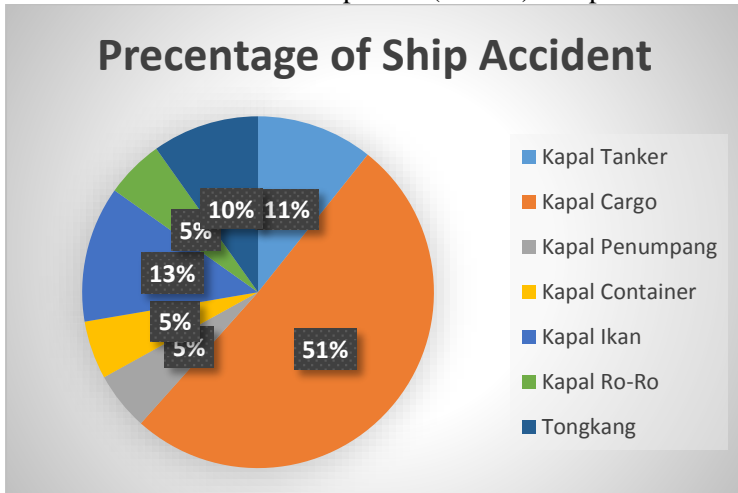
Waktu kapal memuat muatan minyak adalah saat paling berbahaya, karena sedikit saja seorang awak kapal melalaikan faktor-faktor keselamatan akan berakibat fatal. Pada saat ‘ballast trip’ misalnya, masih banyak bahaya ledakan yang timbul karena masih adanya gas-gas sisa yang terdapat didalam tangki dan pipa-pipa

Bagi kapal yang dilengkapi dengan Inert gas system (IGS) mungkin faktor bahaya jauh berkurang. Walaupun sesudah ‘tank cleaning’ tanpa diikuti dengan ‘gas freeing’ kapal itu masih ada kemungkinan untuk menimbulkan bahaya ledakan/kebakaran.

Oleh karena itu hal-hal berikut ini adalah sangat penting untuk diketahui oleh para perwira kapal tanker :

1. Hot Work Permit dan Cold Work Permit
2. Oil Record Book
3. Latihan-latihan keselamatan

Dari rekap data kecelakaan laut yang didapat dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) didapatkan

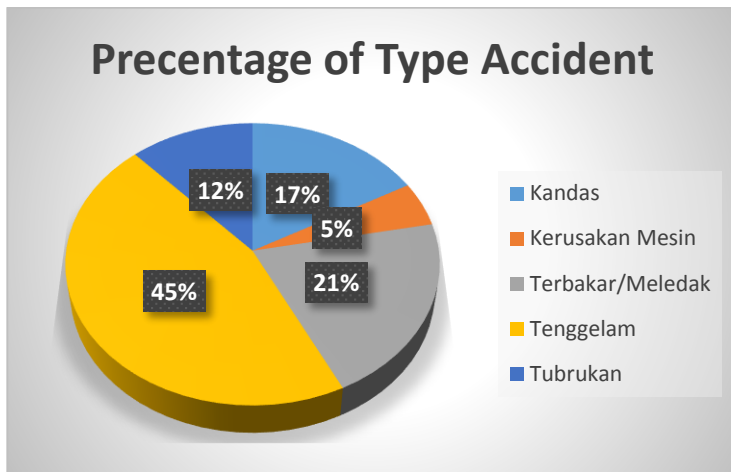


*Gambar 1. 1 Rekap data kecelakaan laut KNKT tahun 2007-2008*

*(sumber: KNKT)*

**Tabel 1. 1. Berdasarkan Jenis kapal**

Kapal Tanker	11%	12
Kapal Cargo	51%	57
Kapal Penumpang	5%	6
Kapal Container	5%	6
Kapal Ikan	13%	14
Kapal Ro-Ro	5%	6
Tongkang	10%	11
Total	1	112



*Gambar 1. 2 Rekap data kecelakaan laut KNKT tahun 2007-2008*  
(sumber: KNKT)

Tabel 1. 2 Berdasarkan Type Accident

Kandas	17%	30
Kerusakan Mesin	5%	9
Terbakar/Meledak	21%	37
Tenggelam	46%	81
Tubrukan	12%	21
Total	1	178

Tabel 1. 3 Sampel beberapa kasus

Tanggal	Type Kapal	Lokasi	Kasus	Sumber
27/08/2012	Chemical Tanker	Pelabuhan Belang-Belang Sulawesi Barat	Ledakan Di Kamar Mesin	KNKT

Tabel dilanjutkan

Lanjutan Tabel 1. 3

<b>Tanggal</b>	<b>Type Kapal</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kasus</b>	<b>Sumber</b>
03/08/2012	Tongkang	Terminal Bahan Bakar Pertamina-Samarinda	Ledakan Di Kamar Mesin	KNK T
25/09/2014	Tanker	PT.Dok&Perkapalan-Wayne, ambon	Ledakan Saat Docking	Merdeka.com
28/01/2008	Tanker	Perairan Indramayu-Jawa Barat	Ledakan	Indosiar.com
25/04/2007	Oil Tanker	Pertamina Pekanbaru Riau	Meledak Di KM saat Sandar	KNK T
26/07/2012	Tanker	Jetty on Borneo Island-Malaysia	Ledakan saat sandar	theaustralian.com

Dari data diatas 11% diantara kecelakaan dilaut didominasi oleh kapal jenis tanker dimana lebih spesifiknya dalam kurun dua tahun saja terjadi 12 kecelakaan kapal tanker. sedangkan dari type kecelakaannya 21% dengan type kecelakaan terbakar/meledak. Oleh karena itu dalam paper ini akan menganalisa resiko kebakaran/meledak dari kapal tanker. Sehingga akan sedikit berguna nantinya untuk menekan angka kecelakaan di tahun-tahun berikutnya.

Sedangkan berdasarkan dari LRFP records dari kejadian-tanker AFRAMAX papanikolaou. Ditemukan bahwa kecelakaan kebakaran 83% di area after peak dari kapal

Sedangkan kejadian ledakan ditemukan bahwa:

- 62% ledakan terjadi di aft are dari kapal
- 24% ledakan terjadi di cargo/slop tank
- 11% ledakan terjadi di deck dan
- 3% ledakan terjadi di tanki ballast/void spaces.

Tingkat kecelakaan untuk setiap kategori kecelakaan juga tergantung pada kondisi operasi, untuk AFRAMA tankers ini dapat ditemukan bahwa :

- Kecelakaan paling banyak terjadi ketika kapal dalam kondisi berlayar
- Tingginya prosentase dari kebakaran dan ledakan terjadi ketika kapal dalam perbaikan
- Tingginya prosentase dari contact kecelakaan terjadi ketika kapal sedang manouvering

Tabel 1. 4 operating condition at time of accident

%	Under repair	Berth	Port	Dis-charging	Sailing En-route	Anchor ing	Ballast ing	Bunker ing	Loading	Maneuvering	Towed	Mooring	Under construction
NASF	0	3	1	9	75	0	4	0	5	1	1	1	0
Collision	1	6	0	8	63	5	0	1	1	11	2	2	0
Contact	0	8	1	1	48	0	0	0	0	36	3	3	0
Grounding	0	2	2	1	90	4	0	0	0	0	1	0	0
Fire	26	11	0	7	45	0	0	2	0	0	0	7	2
Explosion	33	0	7	10	43	7	0	0	0	0	0	0	0

Note: This data covers AFRAMAX tanker only; analysis of data for SUEZMAX and V/U/LCC is pending.

ledakan berbeda dengan kebakaran karena terkadang ledakan tidak disertai dengan kebakaran. Seringkali ledakan merupakan faktor awal suatu kebakaran. Suatu ledakan dapat teradi selama tahap perkembangan suatu kebakaran. Suatu ledakan dapat terjadi jika uap, debu, atau gas, dicampur udara dengan jumlah tertentu, selanjutnya tersulut. Dalam keadaan ini, hasil pembakaran yang terjadi pada suatu ledakan tidak berbeda dari yang terjadi dalam suatu kebakaran, namun bedanya bahwa pencampuran ini memungkinkan seluruh pembakaran dalam suatu ledakan terjadi dalam waktu yang sangat singkat dan cepat. Dengan demikian, semua panas yang dihasilkan, proses pembakaran, dan hasil-hasil pembakaran, yang biasanya terjadi dalam waktu yang cukup, menjadi peristiwa hampir terjadi secara cepat yang dikenal sebagai ledakan dengan efek mekanik. Peristiwa tersebut mungkin

menghasilkan daya yang sangat kuat dan menghasilkan kerusakan besar, termasuk menghancurkan dari seluruh bangunan.

Percampuran uap dan gas mudah terbakar dengan udara akan dapat meledak hanya jika berada dalam kisaran konsentrasi tertentu dan mendapat pemicu (disulut).

Saat campuran uap gas-udara (oksigen) berada pada konsentrasi di bawah *Lower Explosive Limit* (LEL), kondisi tersebut dianggap terlalu miskin campuran untuk dapat terbakar atau meledak (*too lean*). Pada konsentrasi di atas *Upper Explosive Limit* (UEL), campuran uap-gas bahan bakar-udara tersebut terlalu kaya untuk terjadinya kebakaran (*too rich*).

Kamar mesin pada sebuah kapal perlu diperhitungkan sebagai suatu tempat yang sangat berbahaya, terdapat beberapa bahan dan peralatan yang rentan terhadap api dibanding tempat lain di atas kapal, sebab seluruh unsur pembentuk kebakaran (oksigen, panas, dan bahan bakar) ada di tempat ini.

Sumber-sumber uap dan gas bisa berasal dari bahan bakar mesin-mesin kapal, minyak lumas dan bahan bakar muatan kapal. Unsur udara atau oksigen sebagai bahan pencampur berasal dari udara bebas kamar mesin yang disirkulasikan *blower* kamar mesin. Dan kemungkinan terhisapnya uap-gas dari tangki muatan kapal oleh *blower* tekan kamar mesin. Sedangkan unsur panas dapat ditimbulkan dari permukaan panas (*hot surface*) mesin-mesin diesel baik mesin induk ataupun mesin bantu, penggunaan perkakas, percikan las, listrik, atau sumber panas terbuka lainnya.

## **1.2 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana prosedur sebelum melakukan pekerjaan perbaikan dikapal khususnya hotwork yang dapat memicu terjadinya kebakaran/ledakan ?
2. Risiko apa yang terjadi bila prosedur tidak dilakukan dengan baik ?



3. Apabila terjadi risiko yang tidak diinginkan apakah risiko tersebut masih berada pada tingkat yang diterima atau tidak ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar proses analisa bisa lebih fokus dalam membahas permasalahan yang ada maka diperlukan beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Lokasi lebih di fokuskan pada perbaikan di engine room dan cargo tank
2. Jenis perbaikan/pekerjaan lebih difokuskan pada pekerjaan hot work yang dapat mengakibatkan terjadinya kebakaran/ledakan apabila tidak dilakukan SOP yang baik

### **1.4 Tujuan Skripsi**

1. Dapat mengetahui seberapa besar tingkat bahaya kapal pada saat perbaikan(pekerjaan hot work)
2. Dapat melakukan mitigasi apabila tingkat risiko yang akan terjadi pada daerah yang tidak dapat diterima
3. Mendapatkan rekomendasi SOP pada saat melakukan perbaikan

### **1.5 Manfaat Skripsi**

1. Tingkat safety dan keamanan menjadi lebih baik
2. Mengurangi resiko yang akan terjadi sehingga mengurangi korban
3. Meminimalisir korban dalam kecelakaan kapal dimana saat kapal melakukan perbaikan
4. Mendapatkan perbaikan SOP pada saat kapal melakukan perbaikan

## **BAB II**

### **Tinjauan Pustaka**

#### **2.1 Pengertian Umum**

Ada beberapa pengertian yang digunakan untuk menunjang penelitian tugas akhir ini dimana beberapa hal yang berkaitan dengan topik “penilaian risiko kebakaran/ledakan kapal pada saat melakukan perbaikan’ diantaranya ialah

1. Hot Work Permit adalah sertifikat yang diberikan oleh otorita sebuah pelabuhan bagi suatu kapal tanker untuk diijinkan melakukan kerja deck yang dapat menimbulkan/memproduksi panas atau percikan api, seperti ; mengelas / memotong besi, menggerenda, sand or grit blasting, mengetok karat.
2. Cold Work Permit adalah sertifikat yang diberikan oleh otorita suatu pelabuhan kepada sebuah kapal tanker untuk diijinkan kapal tersebut untuk melakukan kerja deck yang dapat menimbulkan adanya bahaya kebakaran, seperti ; menutup/membuka ujung pipa (manifold), menyambung/melepas sambungan pipa, bekerja di pompa-pompa muatan, membersihkan ceceran minyak di deck.  
Ketentuan tersebut diatas adalah sesuai ketentuan dalam ‘International Safety Guide for Oil tankers and Terminals’ (ISGOTT) yang dikeluarkan oleh ‘International Chamber of Shipping’
3. Evaporation  
Semua cairan dapat berubah menjadi uap, perubahan menjadi uap itulah yang dinamakan evaporasi
4. Inerting  
Pengenalan dari inert gas ke tanki untuk menurunkan kadar oksigen dan menjaganya pada level yang mana tidak dapat terbakar di tempat tersebut

5. Inert Gas

Menjaga gas atau uap yang mana tidak mendorong terbakar atau munculnya api karenanya dilakukan pengurangan kandungan oksigen di atmosphere. Sebagai contoh carbon dioxide dan nitrogen digunakan sebagai pelindung gas, tergantung pada muatannya

6. Gas Free

Gas free mengindikasikan bahwa tanki, compartement atau container telah diperiksa menggunakan pengukuran yang sesuai untuk mnegukur kandungan gas, dan bahwa tingkatan dari semua hal yang mudah terbakar, toxic, atau inert gas ketika waktu dari pengukuran itu diperlukan untuk tujuan yang jelas.

## 2.2 Risk Assessment

*Risk assesment* adalah metode yang digunakan untuk menentukan nilai dari suatu risiko kejadian dari bahaya yang ada. Risk assesment ini dilakukan terhadap suatu objek dengan mengidentifikasi kejadian-kejadian yang mungkin terjadi sehingga memberikan nilai bahaya dalam skala tertentu.

Besarnya nilai suatu resiko didapatkan dari

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consecuense}$$

Dampak dari bahaya dapat dikurangi dengan melakukan investasi dalam mitigasi . Jika ada potensi dampak yang signifikan , kemudian menciptakan strategi mitigasi harus menjadi prioritas tinggi. Hal ini dilakukan dengan tujuan hingga nilai risiko berada pada daerah yang dapat diterima. Namun pada daerah ALARP mitigasi bisa dilakukan bisa juga tidak.

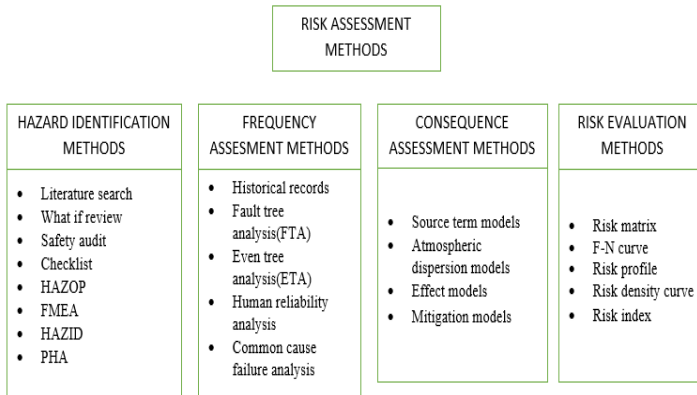


Beberapa teknik dalam melakukan kajian resiko, diantaranya yaitu :

- *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*
- *Hazard Identification Study (HAZID)*
- *Hazard and Oerability Studies (HAZOP)*
- *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA)*
- *Fault Tree Analysis (FTA)*
- *Event Tree Analysis (ETA)*

Secara umum penilaian resiko dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan diantaranya ialah sebagai berikut:

1. *Hazard identification* (identifikasi bahaya)
2. *Frequency analysis* (analisa frekuensi)
3. *Consequence analysis* (analisa konsekuensi)
4. *Risk evaluation*



**Gambar 2. 1 Risk Assessment Method**  
(Sumber: Artana,2013)

## 2.3 Hazard Identification

*Hazard Identification* adalah suatu proses yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya(*hazard*) yang akan terjadi. *Hazard* dapat juga diartikan sebagai potensi dari rangkaian sebuah kejadian, yang muncul dan dapat menimbulkan kerugian. Apabila salah satu bagian dari serangkaian kejadian hilang, maka suatu kejadian tidak akan terjadi.

### 2.3.1 HAZID

Tujuan HAZID (*Hazard Identification Study*) adalah untuk mengevaluasi bahaya awal dalam proyek pada tahap engineering konseptual dan front-end atau pada tahap proyek selanjutnya seperti yang ditemukan yang cocok. Identifikasi bahaya pada tahap awal membantu dalam pemilihan prosedur paling menguntungkan atau desain.

HAZID adalah review teknik terstruktur dengan tujuan untuk mengidentifikasi semua bahaya yang signifikan terkait dengan kegiatan tertentu atau operasi yang sedang dipertimbangkan. HAZID juga dapat diartikan sebagai teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya, yang mana tanpa tindakan pencegahan yang memadai, akan menimbulkan terjadinya bahaya.

Tabel 2. 1 Typical Work Sheet for HAZID

N O	HAZAR D/CRIT ICAL ISUE	CA USE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUA RDS AND BARRIERS	SAFEGU ARDE/C ONTROL MEASUR E	COMM ENT

(sumber: DNV Safety Risk HAZID WORKSHOP)

## 2.4 Analisa Frekuensi

Setelah melakukan identifikasi hazard (*Hazard Identification*), maka langkah selanjutnya ialah analisa frekuensi atau peluang kemunculan bahaya yang telah diidentifikasi. Terdapat beberapa metode kuantitatif yang dapat digunakan dalam tahapan ini, salah satunya adalah FTA (*Fault Tree Analysis*). FTA banyak digunakan untuk menetapkan kemungkinan kejadian dan tingkat konsekuensinya, untuk bahaya dalam konteks analisa resiko.

### 2.4.1 FTA (Fault Tree Analysis)

Teknik untuk mengidentifikasikan kegagalan (*failure*) dari suatu sistem dengan memakai FT (*fault tree*) diperkenalkan pertama kali pada tahun 1962 oleh *Bell Telephone Laboratories* dalam kaitannya dengan studi tentang evaluasi keselamatan sistem peluncuran *minuteman missile* antar benua. Boeing company memperbaiki teknik yang

dipakai oleh Bell Telephone Laboratories dan memperkenalkan program komputer untuk melakukan analisa dengan memanfaatkan FT baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif.

FTA (*Fault Tree Analysis*) berorientasi pada fungsi (*functionoriented*) atau yang lebih dikenal dengan “*top down*” approach karena analisa ini berawal dari system level (*top*) dan meneruskan nya kebawah. Titik awal dari analisa ini adalah pengidentifikasikan mode kegagalan fungsional pada top level dari suatu sistem atau subsistem.

FTA adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem engineering. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem engineering dan probabilitas terjadinya event tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada TOP event. FT adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Setelah mengidentifikasi TOP event, event-event yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya top event diidentifikasi dan dihubungkan ke TOP event dengan memakai hubungan logika (*logical link*). Gerbang AND (AND gate) dan sampai dicapai event dasar yang independent dan seragam (*mutually independent basic event*). Analisa deduktif ini menunjukkan analisa kualitatif dan kuantitatif dari sistem engineering yang dianalisa.

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponenkomponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara basic event dan TOP event. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (logika gate). Output dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh event yang

masuk kegerbang tersebut. Sebuah FTA secara umum dilakukan dalam 5 tahapan, yaitu:

1. Mendefinisikan problem dan kondisi batas (*boundary condition*) dari sistem
2. Pengkontruksian fault tree
3. Mengidentifikasi minimal cut set atau minimal path set
4. Analisa kualitatif dari fault tree
5. Analisa kuantitatif fault tree

Berikut ini adalah penjelasan dari beberapa tahapan FTA di atas diantaranya adalah:

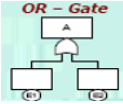
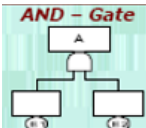



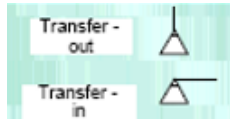
1. Definisi Problem dan Kondisi Batas
2. Pengkonstruksian Fault Tree

Pengkonstruksian fault tree selalu bermula dari TOP event. Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam mengkontruksi sebuah fault tree.

  - Diskripsikan fault event. Masing – masing basic event harus didefinisikan secara teliti (apa, dimana, kapan) dalam sebuah kotak.
  - Evaluasi fault event. Kegagalan komponen dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu, primari failures, secondary failure, dan command faults.
  - Lengkapi semua gerbang logika. Semua input ke gate tertentu harus didefinisikan dengan lengkap dan didiskripsikan sebelum memproses gate lainnya. Fault tree harus diselesaikan pada masing-masing level sebelum memulai level berikutnya.



Tabel 2. 2 FTA symbol  
(sumber: Dwi Priyanta 2000 )

NAMA	SIMBOL	DESKRIPSI
Logic gates		OR-Gate menunjukkan output dari event A terjadi jika sembarang input event Ei terjadi
		AND-Gate menunjukkan output dari event A akan terjadi jika semua input event Ei terjadi secara serentak.
Input events		Basic event menyatakan kegagalan sebuah basic equipment yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut dari penyebab kegagalan
		Undeveloped event menyatakan sebuah event yang tidak diteliti lebih lanjut karena tidak tersedianya/cukupnya informasi atau karena konsekuensi dari event ini tidak terlalu penting
Description of state		Comment rectangle dimanfaatkan untuk informasi tambahan
Transfer symbols		simbol transfer-out menunjukkan bahwa fault tree dikembangkan lebih jauh dan berkaitan dengan simbol transfer-in







### 3. Pengidentifikasian Minimal Cut Set

*Cut set* ialah kombinasi dari semua *fault event*, hal ini mengarah pada *critical failure* system. Pada terminologi *fault tree*, sebuah *cut set* didefinisikan

sebagai *basic event* yang bila mana terjadi (secara simultan) akan mengakibatkan terjadinya *TOP event*. Sebuah cut set dikatakan sebagai minimal cut set jika cut set tersebut tidak dapat direduksi tanpa menghilangkan statusnya sebagai cut set.

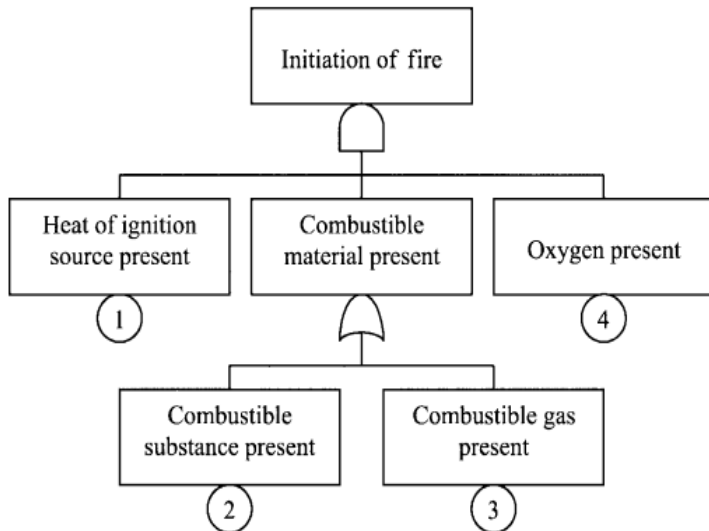
4. Evaluasi Kualitatif Fault Tree  
Evaluasi kualitatif dari sebuah fault tree dapat dilakukan berdasarkan minimal cut set.
5. Evaluasi Kuantitatif Fault Tree  
Secara umum ada dua buah metode untuk mengevaluasi sebuah fault tree secara kuantitatif. Kedua metode ini ialah:
  - Pendekatan aljabar boolean (*boolean algebra approach*)
  - Pendekatan perhitung langsung (*direct numerical approach*)

Tabel 2. 3 Fault tree gate symbol  
(sumber : Svein kristiansen)

Gate symbol	Gate name	Casual relation
 <p>Output event</p> <p>Input events</p>	AND gate	Output event occurs if all input events occur simultaneously
	OR gate	Output event occurs if any one of the input events occurs
	Inhibit gate	Input produces output when conditional events occur
	Priority AND gate	Output event occurs if all input events occur in the order from left to right
	Exclusive OR gate	Output event occurs if one, but not more than one, input events occur
 <p>n inputs</p>	m out of n gate	Output event occurs if m out of n input events occur

Berdasarkan teori api dasar, kebakaran dapat terjadi hanya jika tiga kondisi dasar terpenuhi. Ketiga kondisi dasar

tersebut adalah adanya bahan yang mudah terbakar misalnya (kayu, minyak, dll), oksigen, dan sumber pengapian misalnya (api, panas, percikan, gesekan dsb). Dengan membedakan bahan yang mudah terbakar dengan gas, berikut dapat disederhanakan pohon kegagalan dapat dibangun.

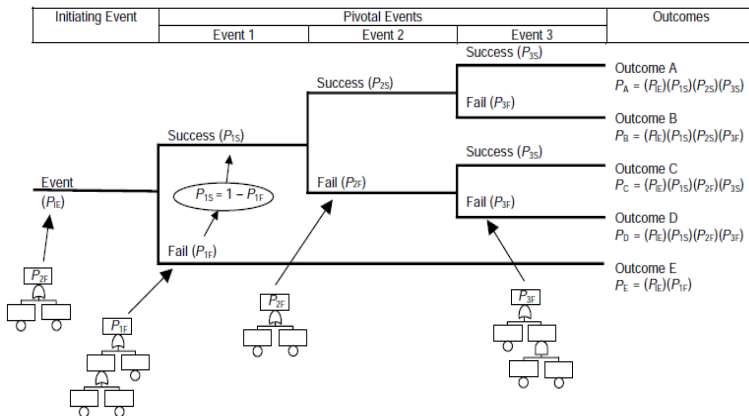


*Gambar 2. 2 Fault tree diagram sederhana untuk api*

#### **2.4.2 ETA (Event Tree Analysis)**

Event tree analysis adalah teknik analisis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi urutan peristiwa dalam skenario kecelakaan yang berpotensi terjadi. ETA menggunakan struktur pohon logika visual yang dikenal sebagai pohon keadian. Tujuan dari ETA adalah untuk menentukan apakah suatu keadian akan berkembang menjadi sebuah kecelakaan serius atau jika peristiwa tersebut dapat dikendalikan oleh sistem keselamatan dan prosedur yang diterapkan dalam desain sistem. ETA dapat menghasilkan berbagai kemungkinan hasil keluaran dari sebuah keadian

awal, dan dapat memprediksi kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk setiap hasil keluaran.



Gambar 2. 3 Event Tree diagram sederhana

Dari Gambar 2.3 menjelaskan contoh dari skema event tree analysis dimana keluaran hasilnya berasal dari perkalian tiap cabangnya

## 2.5 Analisa Konsekuensi

Dalam konteks resiko sistem rekayasa, konsekuensi sering direpresentasikan dalam beberapa ukuran, antara lain

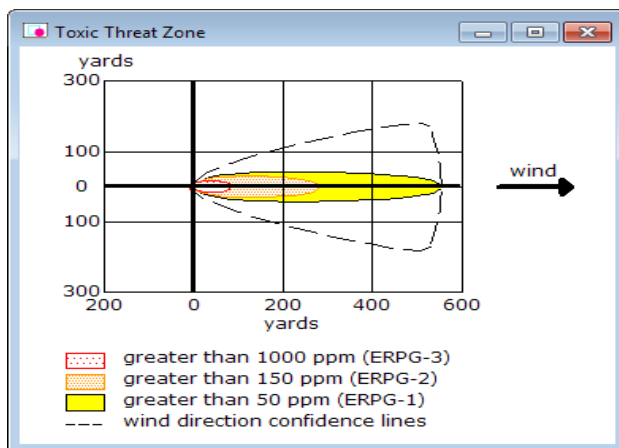
- Jumlah orang yang terkena dampak
- Dampak apa saja yang dialami orang tersebut
- Jumlah kerugian material maupun peralatan
- Dampak pada lingkungan sekitar
- Finansial loss

Analisa konsekuensi dilakukan dengan beberapa pendekatan antara lain, dengan mengevaluasi beberapa insiden yang pernah terjadi, pemodelan dengan software, pemodelan fisik, atau pendapat kualitatif ahli dalam bidang yang sesuai.

Sedangkan dalam tugas akhir ini untuk menganalisa konsekuensi yang terjadi akan menggunakan *software* ALOHA.

ALOHA adalah program pemodelan bahaya untuk perangkat lunak CAMEO, yang digunakan secara luas untuk merencanakan dan menanggapi keadaan darurat dari bahan kimia.

ALOHA memungkinkan anda untuk memasukkan rincian tentang adanya atau potensi rilis kimia dan kemudian akan menghasilkan perkiraan zona ancaman untuk berbagai jenis bahaya. ALOHA dapat dimodelkan untuk gas beracun, gas yang mudah terbakar, *BLEVE*, *jet fire*, *pool fire*, and *vapour cloud explosions*. Perkiraan zona ancaman yang ditampilkan pada kotak di ALOHA, dan mereka juga dapat memplotkan pada peta di MARPLOT, Esric's ArcMap, Google Earth, and Google Maps. Zona merah mewakili ancaman tingkat bahaya terburuk, dan zona kuning dan oranye mewakili daerah penurunan bahaya.



Gambar 2. 4 ALOHA

Dari aloha diatas menunjukan radius yang terkena dampak dimana zona merah sampai dapat menghancurkan bangunan, sedang zona orange terdampak ke manusia sedang zona kuning hanya menghancurkan kaca.

## 2.6 Evaluasi Resiko

Evaluasi resiko dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya saja dengan *risk matrix*, *F-N curve*, *risk profile*, dll. Dalam pengerjaan tugas akhir ini guna untuk melakukan evaluasi resiko rencananya akan menggunakan *risk matrix*.

### 2.6.1 Risk Matrix

Matriks resiko adalah matriks yang digunakan dalam *risk assessment* untuk menentukan berbagai tingkat risiko sebagai indikator dari probabilitas bahaya dan keparahan bahaya. Ini adalah mekanisme sederhana untuk meningkatkan visibilitas risiko dan membantu pengambilan keputusan manajemen.

Sebagai contoh, tingkat keparahan kerusakan dapat dikategorikan sebagai:

- Bencana (*Catastrophic*) - Beberapa Kematian
- Kritis (*Critical*) - Satu Kematian atau Cedera Beberapa parah
- Marjinal (*Marginal*) - Satu Cedera parah atau Beberapa Cedera Kecil
- Diabaikan (*Negligible*) - Satu Kecil Cedera

Probabilitas bahaya yang terjadi dapat dikategorikan sebagai '*certain*', '*likely*', '*possible*', '*unlikely*' dan '*rare*'. Namun harus diperhatikan bahwa probabilitas yang sangat rendah tidak mungkin sangat handal.

Untuk memudahkan peringkat dan validasi peringkat, umumnya direkomendasikan untuk mendefinisikan

konsekuensi dan probabilitas indeks pada skala logaritmik. Sebuah indeks risiko karena mungkin didirikan dengan menambah probabilitas/frekuensi dan konsekuensi indeks. Dengan memutuskan untuk menggunakan skala logaritmik, indeks risiko untuk peringkat tujuan acara dinilai “remote” (FI=3) dengan keparahan “signifikan” (SI = 2) sehingga nilai RI = 5

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence}$$

$$\text{Log (Risk)} = \text{log (Probability)} + \text{log (Consequence)}$$

Tabel berikut memberikan contoh indeks keparahan logaritmik, skala untuk masalah keamanan maritim. Pertimbangan isu lingkungan atau kapal penumpang mungkin membutuhkan kategori tambahan atau berbeda.

Tabel 2. 4 Severity Index

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

Tabel 2. 5 Frequency Index

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	$10^{-3}$
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	$10^{-5}$

Tabel 2. 6 Risk Index

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

Standart risk criteria yang diambil diatas ialah berdasarkan IMO MSC/Circ.1023 . \CIRC\MSC\1023-MEPC392.doc

## 2.7 HEART

HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*)

Metode ini merupakan salah satu alat untuk mengukur *Human Error Probability* (HEP). Dimana HEP sendiri yaitu peluang kesalahan manusia dalam melakukan satu aktivitas yang dikembangkan oleh JC Williams pada tahun 1985 dan dijelaskan oleh Williams pada tahun 1986 dan 1988 (Bell dan Holroyd 2009).

Metode HEART dan 2 metode lain (THERP dan JHEDI) untuk pengukuran HEP telah divalidasi (Kirwan *et al*, 1997a). Hasil dari validasi tersebut menunjukkan tidak adanya performa yang berbeda untuk mengukur HEP dan metode tersebut sama-sama memiliki level akurasi yang masuk akal (Kirwan *et al*.1997a). Terdapat 9 kategori kelompok generik (*Generic Task*) untuk menetapkan nominal peluang kesalahan manusia (NHEP).

## 2.8 Flash Fire

*Flash fire* disebut api kilat karena peristiwa tersebut umumnya berlangsung dalam kisaran 0-5 second, fenomena ini seperti ledakan – turbulensi campuran *flammables* (bahan yang



mudah terbakar) dan udara yang menyebabkan kebakaran singkat, bergantung pada turbulensi dan besarnya *vapor cloud*.

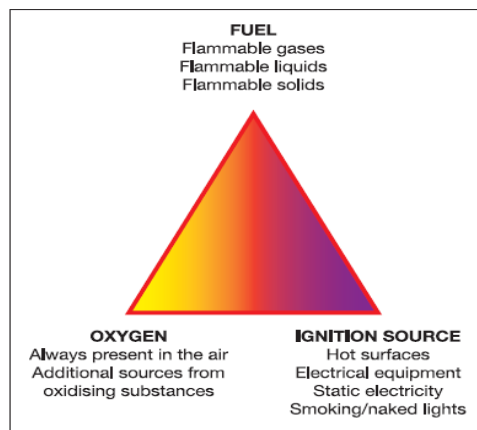
*Flash fire* (api singkat), dibentuk oleh adanya kumpulan *flammable vapour* yang terbakar oleh sumber api. *Flammable vapour* dapat terbentuk dari dua kejadian, pertama adalah *gas dispersion*, dan yang kedua adalah terdapat kumpulan hidrokarbon dalam fase cair yang membentuk *pool*. Jika genangan (*pool*) berubah fasa menjadi vapour dan ternyalakan oleh sumber api maka akan terjadi *flash fire*.

## 2.9 Ledakan

Ledakan ialah pembakaran sesaat dari campuran gas yang mudah terbakar yang mengarah ke pelepasan panas yang cepat atau kenaikan tekanan.

## 2.10 Fire

Api adalah oksidasi cepat terhadap suatu material dalam proses pembakaran kimiawi, yang menghasilkan panas. Dalam proses terjadinya suatu kebakaran dapat juga disebut segitiga api dimana apabila ketiga unsur ini ada dan bereaksi maka akan terjadi kebakaran. Berikut adalah tiga unsur segitiga api.



*Gambar 2.5 segitiga api*

Ada beberapa penyebab kebakaran antara lain :

- Kenaikan temperatur diruangan yang bersebelahan dengan tempat penyimpanan bahan bakar (misalnya: boiler, incinerator)
- Panas yang berlebihan pada sekat (misal: sekat *engine room*)
- Kondisi kabel listrik yang jelek
- Rusaknya isolasi kabel listrik karena naiknya suhu
- *Human error*
- Dll

# **BAB III**

## **METODOLOGI**

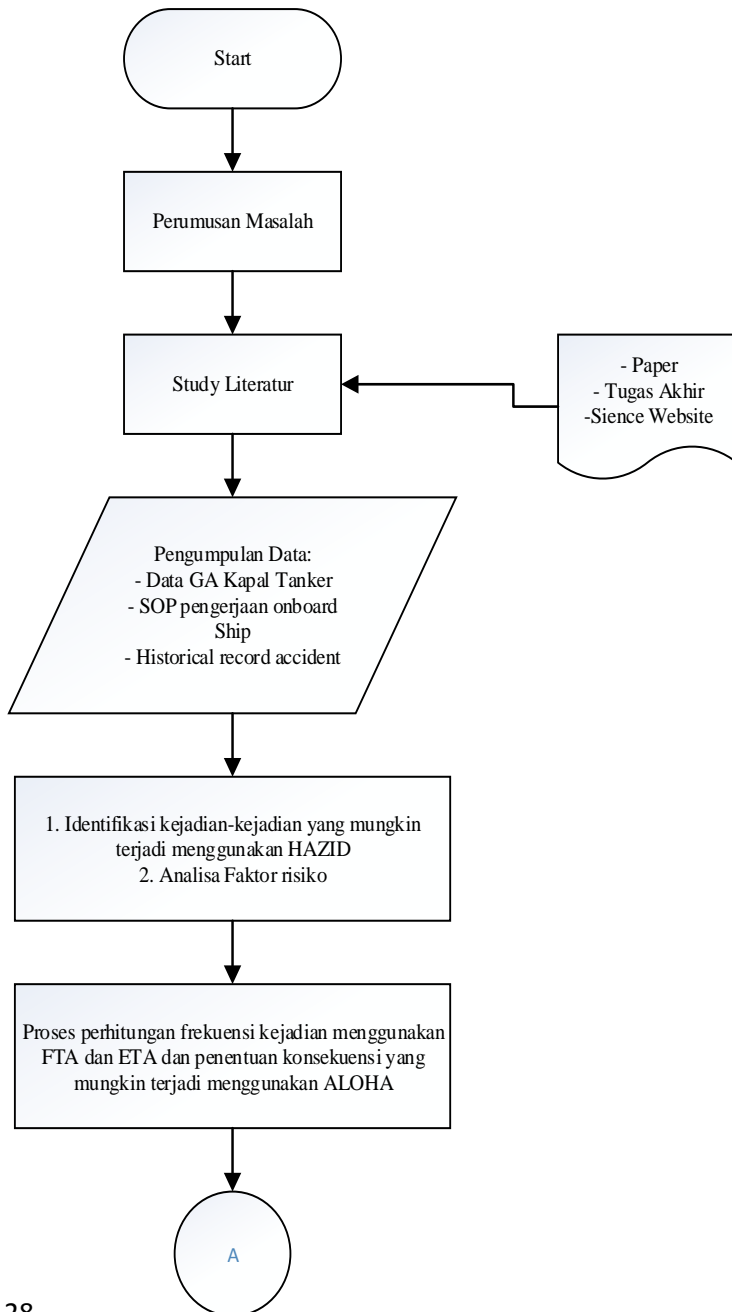
### **3.1 Pendahuluan**

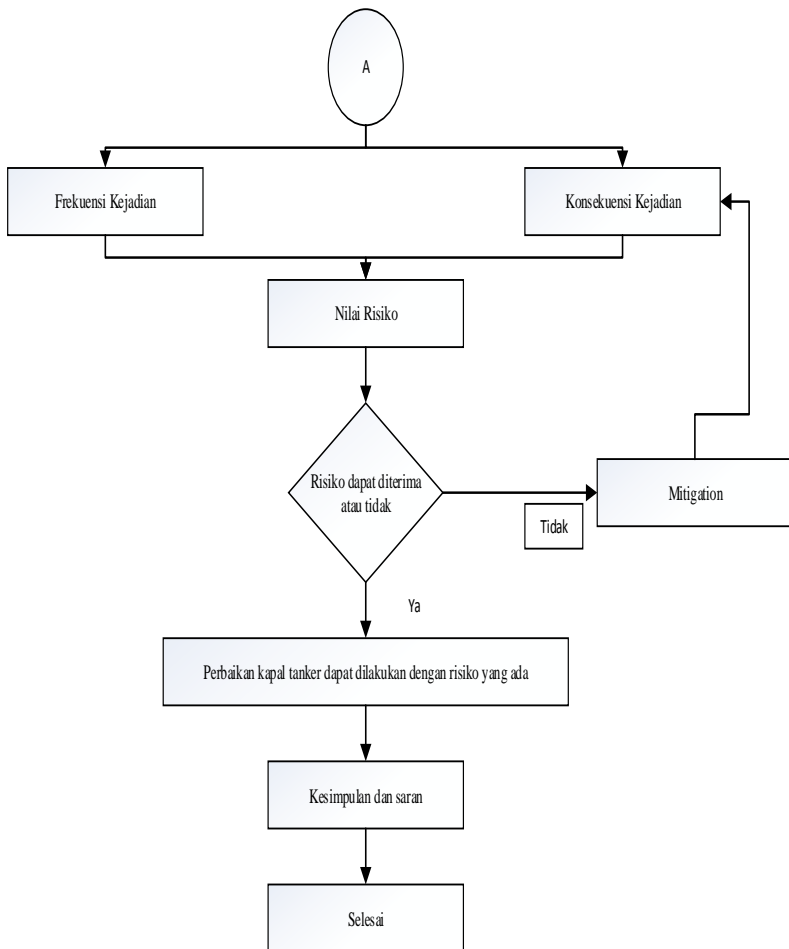
Metodologi penulisan pada paper ini mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan paper.

Perlu diperhatikan dalam pembuatan metodologi yaitu metodologi yang mudah untuk dipahami oleh pembaca karena metodologi merupakan ringkasan alur pengerjaan dari tugas akhir ini.

Dalam metodologi ini langkah pertama yang harus dilakukan ialah membuat flow chart sistem yakni merupakan bagan yang menunjukkan alur kerja atau apa yang sedang dikerjakan didalam sistem secara keseluruhan dan menjelaskan urutan dari prosedur-prosedur yang ada didalam sistem. Dengan kata lain, flowchart ini merupakan deskripsi secara grafik dari urutan prosedur-prosedur yang terkombinasi yang membentuk suatu sistem.

Setelah flowchart dibuat maka diberi sedikit penjelasan dari tiap bagan tersebut. Berikut ini ialah flowchart dalam pembuatan tugas akhir ini:





### 3.2 Penjelasan

Pada tugas akhir ini ada beberapa penjelasan susunan dari flow chart diatas yakni sebagai berikut:

- a. Perumusan Masalah
  1. Bagaimana mengaplikasikan *risk assesment* pada kapal tanker saat kapal sedang adanya perbaikan
  2. Hal-hal apa saja yang dapat menimbulkan resiko pada kapal Tanker yang sedang adanya perbaikan
  3. Apa saja rekomendasi yang akan diberikan kepada kapal dari hasil risk assessment terhadap kapal Tanker tersebut terkait dengan resiko yang terjadi
- b. Study Literature

Study literature didapatkan dari berbagai referensi misalnya dari tugas akhir tentang risk assesment, website, book dll
- c. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan agar dalam pengerjaan Tugas akhir ini terlaksana dengan benar. Data-data yang diperlukan diantaranya ialah :

  - Data Kapal Tanker
  - General Arrangement Kapal
  - Data sifat dan Properti Tanker
- d. Melakukan Hazard Analysis
  1. Identifikasi Kejadian-Kejadian yang mungkin terjadi menggunakan HAZID method
  2. Analisa Faktor Resiko
- e. Melakukan perhitungan frekuensi kejadian menggunakan fault tree+ dan menentukan konsekuensi yang mungkin terjadi menggunakan ALOHA

- f. Setelah didapatkan besarnya nilai resiko dari  
 $\text{resiko} = \text{frekuensi kejadian} \times \text{besar nilai konsekuensi}$
- g. Resiko dapat diterima atau tidak bila tidak maka akan dilakukan risk mitigation dan kembali melakukan hazard analysis
- h. Bila iya maka didapatkan kesimpulan dari tugas akhir ini.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Dalam Tugas akhir ini objek yang digunakan sebagai analisis adalah menilai resiko terjadinya kebakaran dan ledakan pada kapal oil tanker pada saat kapal tersebut melakukan perbaikan.

Kapal tanker adalah kapal yang dirancang untuk mengangkut minyak dan turunannya. Ada beberapa jenis kapal tanker yakni, oil tanker, chemical tanker, pengangkut LNG dan pengangkut LPG. Dalam pengerjaan skripsi ini kapal yang ditinjau ialah jenis kapal oil tanker.

Dalam kapal oil tanker resiko kebakaran/ledakan dapat dikatakan cukup tinggi mengingat jenis muatan yang dibawa dalam kapal. Di kapal tanker selain area berbahaya yang mempunyai potensi tinggi terhadap kebakaran yakni di daerah cargo tank, Dalam kamar mesin sebuah kapal perlu diperhitungkan sebagai suatu tempat yang sangat berbahaya juga, terdapat beberapa bahan dan peralatan yang rentan terhadap api dibanding tempat lain diatas kapal, sebab seluruh unsur pembentuk pembakaran (panas/suhu, oksigen, dan bahan bakar) ada di tempat ini.

Sumber-sumber uap dan gas bisa berasal dari bahan bakar mesin-mesin kapal, minyak pelumas dan bahan bakar muatan kapal. Unsur udara atau oksigen sebagai bahan pencampur berasal dari udara bebas kamar mesin yang disirkulasikan oleh blower kamar mesin. Dan kemungkinan terhisapnya uap gas dari tangki muatan kapal oleh blower ke kamar mesin. Sedangkan unsur panas dapat ditimbulkan dari permukaan panas (*hot surface*) mesin-mesin diesel baik mesin induk (*main engine*) maupun mesin bantu (*auxiliary engine*),



Sedangkan untuk objek dari kapal yang ditinjau dalam tugas akhir ini berikut ialah gambaran spesifikasinya

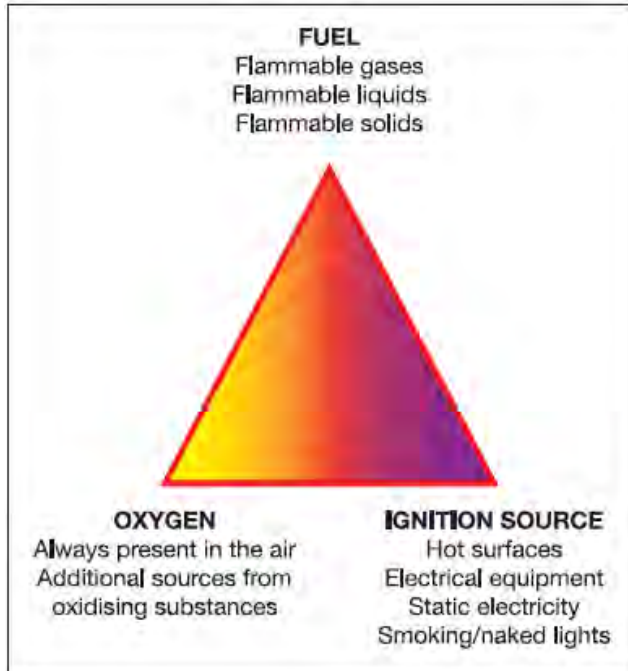


- Captain	1 orang
- Chief Engineer	1 orang
- 1st Engineer	1 orang
- Chief Officer	1 orang
- Junior Officer	7 orang
- Petty officer	8 orang
- Rating	9 orang

34

Sebelum melakukan Hazard Identification sebaiknya terlebih dahulu menuliskan hal-hal apa saja yang dapat menyebabkan terjadinya kebakaran (*Flammability*) diantaranya ialah:

- Kebakaran hanya terjadi jika ketiga hal berikut ada yakni



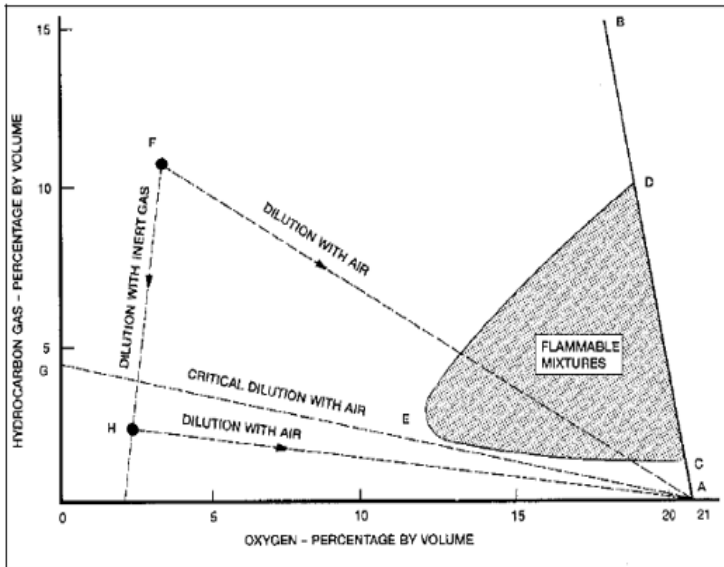
Gambar 4. 2 segitiga api  
(sumber:FSRA HM Government)

- A Source of ignition
- Fuel
- Oxygen

Jika salah satu dari ketiga faktor tersebut tidak terpenuhi maka api tidak dapat terjadi.

- Untuk campuran gas (hydrocarbon) dari minyak bumi cair yang mungkin dapat ditemui dalam perdagangan tanker biasanya di kisaran LFL (*Lower Flammable Limit*) 1% gas dari volume di udara sampai

UFL (*Upper Flammable Limit*) 10% gas dari volume di udara.



Gambar 4. 3 flammability composition diagram

- Kebakaran dan ledakan disebabkan oleh zat yang mudah terbakar atau material yang mudah terbakar atau gas yang ada di udara atau ataupun uap.
- Semua cairan di cargo dapat berubah menjadi uap yang dinamakan proses evaporasi, uap inilah yang dinamakan gas.  
Gas petroleum hanya dapat menyala dan akan terbakar ketika hanya bercampur dengan udara pada proporsi tertentu
- Adanya sumber api dan *flammable atmosphere* yang ada pada tempat dan waktu yang sama.

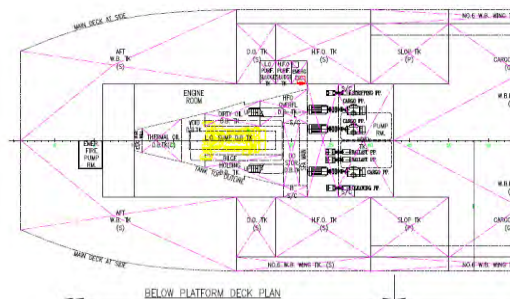
Dilihat dari hal-hal yang cenderung untuk menimbulkan kebakaran maupun ledakan dikapal ialah pekerjaan panas (*hot work*) dimana, Jenis pekerjaan dikapal ada

2 yakni pekerjaan dingin (*cold work*) dan pekerjaan panas (*hot work*), berikut ini penjelasan dari kedua jenis pekerjaan tersebut.

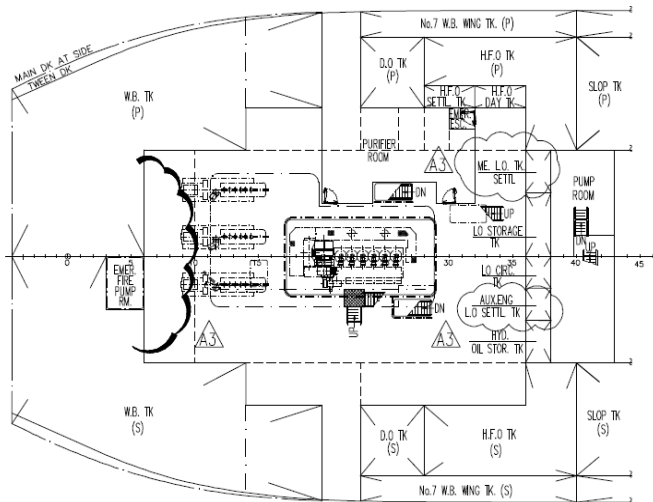
1. *Cold Work* : kerja deck yang tidak memproduksi panas atau percik api, seperti ; menutup/membuka ujung pipa (manifold), menyambung/melepas sambungan pipa, bekerja di pompa-pompa muatan, membersihkan ceceran minyak di deck.
2. *Hot Work* : kerja deck yang dapat menimbulkan/memproduksi panas atau percikan api, seperti ; mengelas / memotong besi, menggerenda, sand or grit blasting, mengetok karat.

Berikut ini akan diulas sedikit mengenai *hot work*:

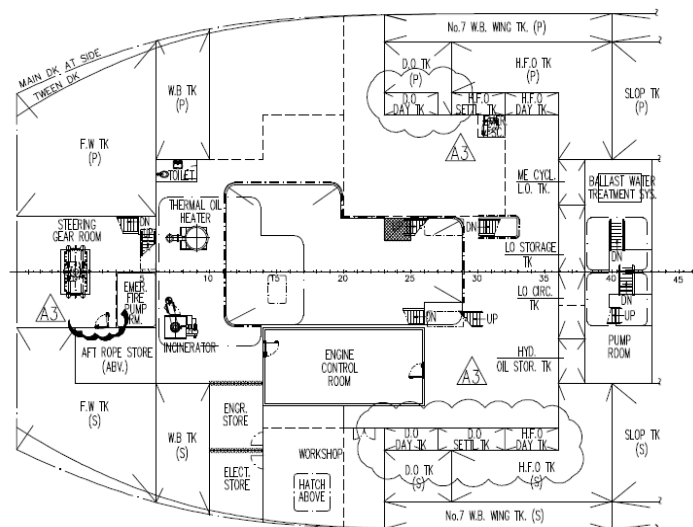
- Hot Work dalam kamar mesin  
Pekerjaan panas (Hot Work) didalam kamar mesin, ketika dikaitkan dengan tangki bahan bakar, pipa bahan bakar harus memperhitungkan kemungkinan adanya uap hidrokarbon di atmospher dan adanya potensial sumber penyalaan api. Menurut ISGOTT (*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*) ialah harusnya atau disarankan bahwa tidak ada pekerjaan panas yang dilakukan pada sekat-sekat dari tanki bunker atau dalam 500 mm dari bulkhead tersebut.



*Gambar 4. 4 tanktop*



*Gambar 4. 5 platform deck plan*



*Gambar 4. 6 tween deck plan*

- Hot Work in a Dangerous or Hazardous Area  
Area berbahaya ialah lokasi pada kapal dimana atau terminal bongkar muat dimana potensi ledakan atmosphere lebih tinggi. Untuk kapal tanker ini yang dimaksud ialah daerah deck cargo tank yakni yang meliputi kargo tank dan pumprooms. Menurut ISGOTT bahwa harusnya tidak ada pekerjaan panas yang dilakukan didaerah berbahaya ini sampai telah dibuat aman, dan telah terbukti aman, dan semua persetujuan atau ijin yang sesuai telah diperoleh.

Dalam mengidentifikasi bahaya (*hazard identification*) metode yang digunakan yakni menggunakan metode HAZID (*Hazard Identification Study*)

#### **4.2 Hazard Identification (HAZID)**

HAZID adalah review teknik terstruktur dengan tujuan untuk mengidentifikasi semua bahaya yang signifikan terkait dengan kegiatan tertentu atau operasi yang sedang dipertimbangkan. HAZID juga dapat diartikan sebagai teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya, yang mana tanpa tindakan pencegahan yang memadai, akan menimbulkan terjadinya bahaya.

Bentuk tabel dari hazid bermacam-macam, sedangkan dalam pengerjaan tugas akhir ini jenis hazid yang digunakan ialah merefer pada “*DNV Safety Risk HAZID WORKSHOP*”. Berikut ialah hazid yang dapat dilihat pada tabel 4.1 yakni hazid di engine room, sedangkan tabel 4.2 hazid di cargo tank.

Tabel 4. 1 Hazid worksheet in Engine Room

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	F	S	R	COMM ENT
1	Hot work adjacent with HFO Day tank	combustible materials or airborne gases, vapors, and particulates present	fire or explosion	1. Area clear of combustible material 2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL		E	3	L	
2	Hot work adjacent with MDO Day tank	combustible materials or airborne gases, vapors, and particulates present	fire or explosion	1. Area clear of combustible material 2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL.		E	3	L	

Tabel dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.1

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
3	Hot work adjacent with pipeline in purifier room	this may hydrocarbon vapours from liquid in pipeline	fire or explosion	1. Area clear of combustible material 2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL. 3. for pipeline repair, the pipe must be detached and remaining system blanked off		E	3	L	
4	Hot work adjacent with HFO Settling tank	this may hydrocarbon vapours from HFO/MDO spill near tank	fire or explosion	1. Area clear of combustible material 2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL.		E	3	L	

Tabel dilanjutkan



Lanjutan Tabel 4.1

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
5	Hot work adjacent with MDO Settling tank	this may hydrocarbon vapours from liquid in pipeline	fire or explosion	1.Area clear of combustible material 2.Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL.		E	3	L	
6	Hot work adjacent with transfer pump	this may hydrocarbon vapours from HFO/MDO spill near tank	fire or explosion	1. Area clear of combustible material 2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL.		E	3	L	

Tabel dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.1

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
7	Welding adjacent with air venting piping	the gas was ignited by a welding flame, the fire spread through the air vent piping, and the gas exploded when the flames reached the tank	fire or explosion	Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL. for pipe repair, the pipe must be detached and remaining system blanked off					

Tabel dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.1

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
8	Cutting air vent piping leading to a fuel service tank from a fuel feed pump	crude and gas oil in the tank evaporated, evaporated gas went into the air vent piping from the upper part of the tank, and a flammable atmosphere was formed.	fire or explosion	Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours & found to be less than 1% LFL. for pipe repair, the pipe must be detached and remaining system blanked off					

Tabel 4. 2 Hazid worksheet in Cargo Tank

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
1	Hot work near sloop tank	combustible materials or airbone gases, hydrocarbon vapors, and particulates present	fire or explosion	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Area clear of combustible material</li> <li>2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours &amp; found to be less than 1% LFL</li> <li>3. Gas freeing</li> <li>4. All cargo tank inerted &amp; checked oxygen content &lt; 8%</li> </ol>		E	4	L	

Tabel dilanjutkan

Lanjutan tabel 4. 2

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
2	Hot work in cargo tank no.4	combustible materials or airbone gases, hydrocarbon vapors, and particulates present	fire or explosion	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Area clear of combustible material</li> <li>2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours &amp; found to be less than 1% LFL</li> <li>3. Gas freeing</li> <li>4. All cargo tank inerted &amp; checked oxygen content &lt; 8%</li> </ol>		E	4	L	

Tabel dilanjutkan

Lanjutan tabel 4. 2

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
3	Hot work adjacent with pipeline in cargo tank	combustible materials or airborne gases, hydrocarbon vapour vapors, and particulates present, still liquid in system	fire or explosion	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Area clear of combustible material</li> <li>2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours &amp; found to be less than 1% LFL</li> <li>3. Gas freeing</li> <li>4. All cargo tank inerted &amp; checked oxygen content &lt; 8%</li> </ol>		E	4	L	

Tabel dilanjutkan

Lanjutan tabel 4. 2

N O	HAZAR D/CRITI CAL ISUE	CAUSE	POSIBLE CONSEQ UENCE	EXISTING SAFEGUARDS AND BARRIERS	SAFEGUARDE /CONTROL MEASURE	P	C (N)	R	COMM ENT
4	Hot work adjacent with pump room	combustible materials or airborne gases, hydrocarbon vapour vapors, and particulates present, from pump room	fire or explosion	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Area clear of combustible material</li> <li>2. Area checked with a combustible gas indicator for hydrocarbon Vapours &amp; found to be less than 1% LFL</li> <li>3. Gas freeing</li> <li>4. All cargo tank inerted &amp; checked oxygen content &lt; 8%</li> </ol>		E	4	L	

#### **4.2.1 Risk Scenario**

Skenario dalam terjadinya kebakaran ataupun ledakan dimana disebabkan oleh crew saat melakukan pekerjaan perbaikan didalam kapal berikut detail dari skenario yang dapat dibuat:

Flammable atau toxic gases mungkin dapat terjadi :

- Ketika sebuah pipa ataupun valve dari sistem bahan bakar dibuka/ bocor sehingga adanya uap hydrocarbon yang tercampur udara dikamar mesin yang juga tercampur oleh oksigen dimana pada saat itu ada pekerjaan hot work
- Setiap kali ada residu kargo di dalam tangki, terutama ketika akan dipindahkan
- Ketika ada pekerjaan pembersihan filter dari sistem bahan bakar sehingga adanya sedikit cairan minyak bahan bakar yang tumpah lalu menjadi uap yang tercampur udara dan oksigen dalam kamar mesin
- Ketika pipa ventilasi dari ranki-tanki bahan bakar dibuka ataupun bocor sehingga adanya uap hydrocarbon yang tercampur udara dikamar mesin yang juga tercampur oleh oksigen dimana pada saat itu ada pekerjaan hot work

#### **4.3 Analisa Frekuensi (*Frequency Analysis*)**

Analisa frekuensi bertujuan untuk mencari besarnya peluang terjadinya bahaya yang telah teridentifikasi sebelumnya. Ada beberapa teknik dalam melakukan analisa frekuensi diantaranya ialah FTA (*Fault Tree Analysis*) maupun ETA (*Event Tree Analysis*). Dalam pengerjaan tugas akhir ini



metode yang digunakan dalam melakukan analisa frekuensi ialah menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*).

FTA adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu sistem engineering. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem engineering dan probabilitas terjadinya event tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *TOP event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada TOP event. FTA adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Setelah mengidentifikasi TOP event, event-event yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya top event diidentifikasi dan dihubungkan ke TOP event dengan memakai hubungan logika (*logical link*). Gerbang AND (AND gate) dan sampai dicapai event dasar yang independent dan seragam (*mutually independent basic event*). Analisa deduktif ini menunjukkan analisa kualitatif dan kuantitatif dari sistem engineering yang dianalisa.

Berdasarkan teori api dasar, kebakaran dapat terjadi hanya jika tiga kondisi dasar terpenuhi. Ketiga kondisi dasar tersebut adalah adanya bahan yang mudah terbakar misalnya (kayu, plastik, kertas, minyak, bahan bakar, gas, dll), oksigen, dan sumber pengapian misalnya (api, panas, percikan, gesekan dsb).

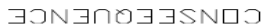
Dalam pengerjaan skripsi ini saya mencoba untuk menggunakan skenario terjadinya kebakaran atau ledakan pada

saat melakukan hotwork dengan diagram bow tie analysis. Bow tie analysis ialah gabungan antara fault tree analysis dan event tree analysis, dimana untuk kotak yang berada ditengah ialah top eventnya, untuk sisi kiri yakni *faul tree* untuk mencari *probability* sedangkan untuk sisi sebelah kanan yakni untuk *event tree*.

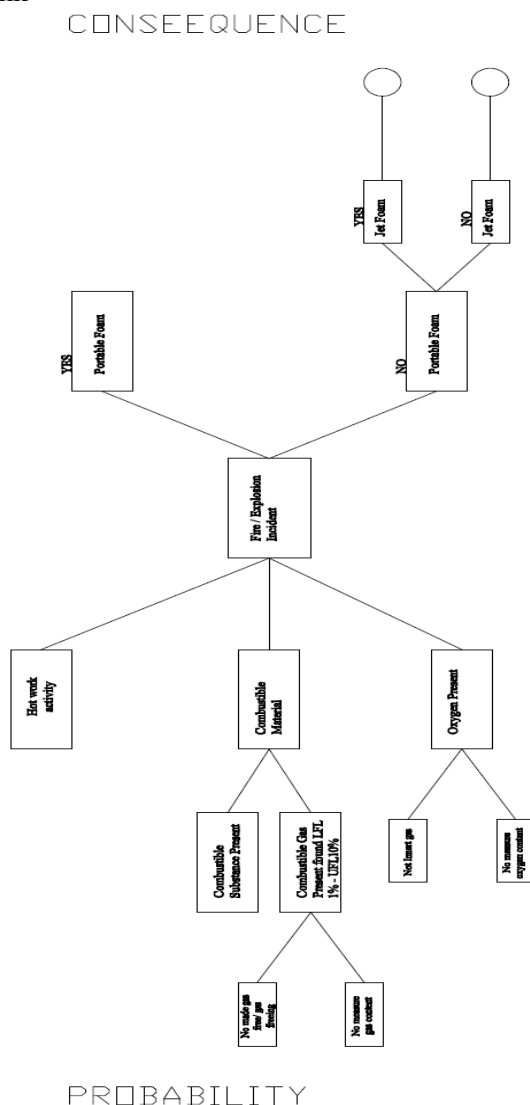
Untuk sisi kiri yakni fault tree untuk mencari probability dalam tugas akhir ini digunakanlah teori dasar segitiga api yakni terjadinya timbul api ialah dikarenakan harus adanya ketiga unsur, tanpa salah satu dari unsur tersebut tidak terpenuhi maka api tidak akan pernah muncul ketiga unsur tersebut ialah oksigen, bahan yang mudah terbakar, dan terkena sulutan/percikan/temperatur yang tinggi. Sedangkan untuk sisi sebelah kanan yakni event tree digunakan teori tindakan/kejadian setelah adanya kebakaran/ledakan yang menjadi *top event*. Sehingga dalam tugas akhir ini digunakanlah teori pemadaman api yang ada dikapal diantaranya yakni ialah setelah adanya api maka hal-hal apa yang bekerja untuk mengontrol api tersebut, diantaranya ialah secara berurutan fire/gas detector (ketika ada api maka alat ini akan mendeteksi adanya api) setelahnya alat-alat pemadam diantaranya ialah portable fire fighting, sprinkle, hydrant dan yang terakhir ialah CO2

Berikut ini ialah diagram bow tie terjadinya kebakaran atau ledakan saat melakukan hotwork:

## PROBABILITY

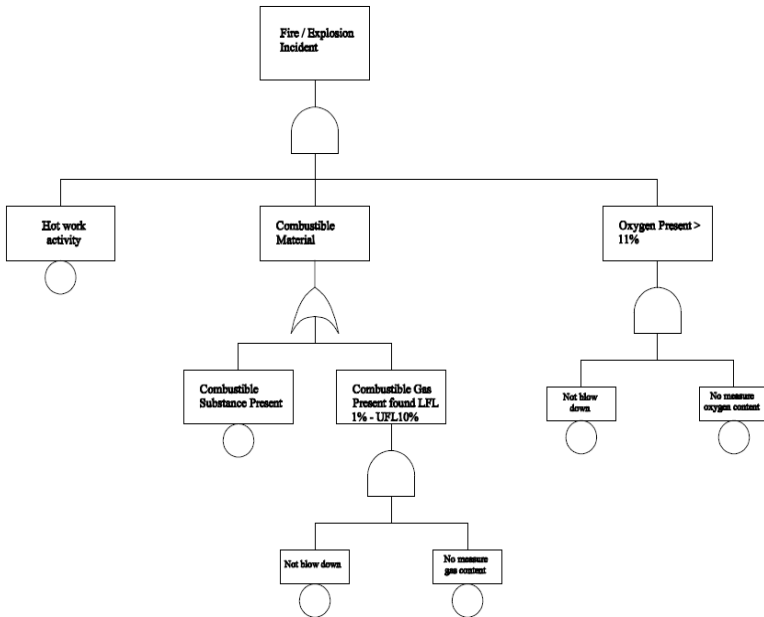


# Bow tie Analysis Untuk Resiko Kebakaran atau Ledakan di cargo tank



Berikut ini ialah fault tree untuk mendapatkan nilai dari fire / explosion incident

#### 4.3.1 Fault Tree analysis in engine room



Gambar 4. 7 diagram FTA untuk di kamar mesin

Ssetelah diagram FTA dibuat maka langkah selanjutnya ialah menentukan nilai inputan tiap basic event diatas dikarenakan nilai top event tergantung dari nilai basic eventnya. Dilihat dari basic event diatas nilai basic event merupakan nilai dari sebuah factor manusia.

Dikarenakan uraiannya merupakan sebuah aktifitas dari manusianya/ human factor oleh karenanya nilai inputan dari FTA diatas yakni pohon kejadian dari fire/explosion

incident menggunakan metode HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*). Berikut ini ialah ulasannya

HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*)

Metode ini merupakan salah satu alat untuk mengukur *Human Error Probability* (HEP). Dimana HEP sendiri yaitu peluang kesalahan manusia dalam melakukan satu aktivitas yang dikembangkan oleh JC Williams pada tahun 1985 dan dijelaskan oleh Williams pada tahun 1986 dan 1988 (Bell dan Holroyd 2009).

Metode HEART dan 2 metode lain (THERP dan JHEDI) untuk pengukuran *Human Error Probability* (HEP) telah divalidasi (Kirwan *et al*, 1997a). Hasil dari validasi tersebut menunjukkan tidak adanya performa yang berbeda untuk mengukur *Human Error Probability* (HEP) dan metode tersebut sama-sama memiliki level akurasi yang masuk akal (Kirwan *et al*.1997a).

Terdapat 9 kategori kelompok generik (*Generic Task*) untuk menetapkan nominal peluang kesalahan manusia (NHEP). Nilai-nilai *Nominal Human Error Probability* ini diambil dari (Williams 1986)

Tabel 4. 3 Kategori Generic Task dalam metode HEART  
(Williams 1986)

ID	Generic Task	NHEP	Uncertainty Bounds (range)
A	Pekerjaan yang benar-benar asing atau tidak dikuasai, dilakukan pada suatu kecepatan tanpa konsekuensi yang jelas	0,55	(0,35-0,97)
B	Merubah atau mengembalikan sistem ke keadaan yang baru atau awal dengan suatu upaya tunggal tanpa pengawasan dan prosedur	0,26	(0,14-0,42)
C	Pekerjaan yang kompleks dan membutuhkan tingkat pemahaman dan keterampilan tinggi	0,16	(0,12-0,28)
D	Pekerjaan yang cukup sederhana, dilakukan dengan cepat atau membutuhkan sedikit perhatian	0,09	(0,06-0,13)
E	Pekerjaan yang rutin, terlatih, memerlukan keterampilan yang rendah	0,02	(0,007-0,045)
F	Mengembalikan atau menggeser sistem ke kondisi semula atau baru dengan mengikuti prosedur, dengan beberapa pemeriksaan	0,003	(0,008-0,007)
G	Pekerjaan familiar yang sudah dikenal, dirancang dengan baik. Merupakan tugas rutin yang terjadi beberapa kali perjam dilakukan berdasarkan standard yang sangat tinggi oleh personel yang telah terlatih dan berpengalaman dengan waktu untuk memperbaiki kesalahan yang potensial, tapi tanpa memanfaatkan alat bantu pekerjaan yang signifikan	0,0004	(0,00008-0,009)
H	Menanggapi perintah sistem dengan benar bahkan ada sistem pengawasan otomatis tambahan yang menyediakan interpretasi akurat	0,00002	(0,000006-0,00009)
M	Pekerjaan lainnya yang tidak ada penjelasan pada kelompok pekerjaan A-H	0,003	(0,008-0,11)

Nilai NHEP (*Nominal Human Error Probability*) tersebut dikoreksi sesuai dengan keberadaan kekuatan dari *Error Producing Conditions* (EPC). EPC didefinisikan sebagai faktor yang mempengaruhi kinerja manusia sehingga kurang dapat diandalkan dan memproduksi kegagalan. Terdapat 38 EPC yang memiliki nilai pengaruh EPC dinyatakan sebagai *Basic Correction Factor* (BCF) yang dikelompokkan pada kategori tinggi, sedang dan rendah pada NHEP (*Nominal Human Error Probability*) untuk memberikan pilihan yang representatif.

Nilai BCF (*Basic Correction Factor*) ini didefinisikan sebagai prediksi nominal maksimum saat keandalan tersebut berubah dari kondisi baik menjadi buruk (Wittingham 2004). Satu aktifitas dapat memunculkan satu atau lebih EPC (*Error Producing Conditions*) tersebut pada tingkat kegagalan yang ditimbulkan. Jadi dari hal tersebut kita yang menentukan satu, dua atau bahkan lebih EPC (*Error Producing Conditions*) yang kita tentukan dari setiap satu aktifitas.

Tabel 4. 4. Error Producing Condition (Williams 1986)

No.	<i>Error Producing Condition</i> (EPC)	BCF for NHEP
1	Ketidakbiasaan/ tidak memahami terhadap sebuah situasi yang sebenarnya penting namun jarang terjadi	17,00
2	Kekurangan waktu untuk mendeteksi kegagalan dan tindakan koreksi	11,00
3	batasan rasio kebisingan yang terlalu rendah	10,00
4	Terlalu mudah untuk melakukan penekanan atau penolakan informasi/aturan	9,00
5	Tidak adanya alat untuk menyampaikan informasi spasial dan fungsional kepada operator dalam bentuk operator dapat secara siap memahaminya.	8,00
6	Ketidaksesuaian antara SOP dan kenyataan dilapangan	8,00
7	Tidak adanya cara yang jelas untuk memperbaiki suatu tindakan yang tidak diinginkan	8,00
8	Kapasitas overload, terutama disebabkan oleh munculnya informasi yang berlebihan secara serempak	6,00
9	Adanya cara kerja yang benar-benar baru, yang prinsip cara kerjanya saling bertolak belakang	6,00
10	Kebutuhan untuk mentransfer pengetahuan yang spesifik dari aktivitas ke aktivitas lain tanpa adanya informasi yang hilang	5,50
11	Ambiguitas dalam tuntutan/kebutuhan standar kinerja	5,00
12	Ketidaksesuaian antara risiko yang dirasakan dengan risiko sebenarnya	4,00
13	Tidak sesuai, rancu atau ketidakcocokkan umpan balik sistem	4,00
14	Ketidakjelasan konfirmasi yang langsung tepat pada waktunya atas tindakan yang diinginkan dari bagian sistem dimana pengendalian digunakan	4,00

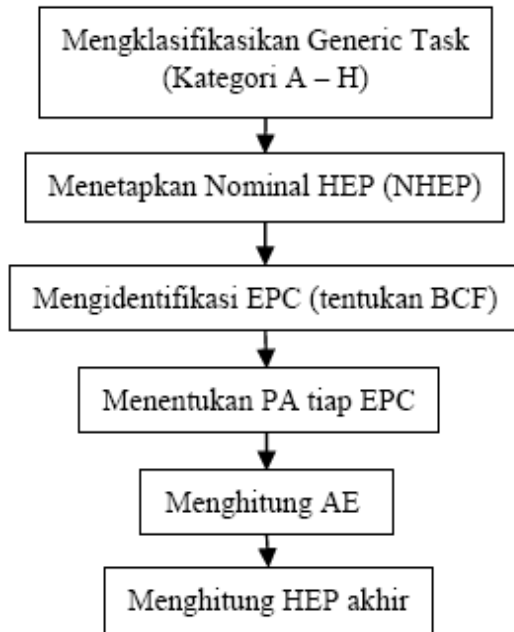
Table dilanjutkan



### Lanjutan tabel 4.3

15	Operator yang kurang berpengalaman (contoh: baru memenuhi kualifikasi namun tidak ahli)	3,00
16	Kualitas informasi yang tidak baik dalam menyampaikan prosedur dan interaksi orang per orang	3,00
17	Sedikit atau tidak ada pengecekan independen atau percobaan pada hasil	3,00
18	Adanya konflik antara tujuan jangka pendek dan jangka panjang	2,50
19	Tidak adanya keragaman masukan informasi untuk pemeriksaan ketelitian	2,50
20	Ketidaksesuaian antara level edukasi yang telah dimiliki oleh individu dengan kebutuhan pekerjaan	2,00
21	Adanya dorongan untuk menggunakan prosedur yang berbahaya	2,00
22	Sedikit kesempatan untuk melatih pikiran dan tubuh di luar batasan langsung pekerjaan	1,80
23	Alat yang tidak dapat diandalkan (cukup bahwa diperhatikan)	1,60
24	Kebutuhan untuk membuat suatu keputusan yang diluar kapasitas atau pengalaman dari operator	1,60
25	Alokasi fungsi dan tanggung jawab yang tidak jelas	1,60
26	Tidak adanya kejelasan langkah untuk mengamati kemajuan selama aktivitas	1,40
27	Adanya bahaya dari keterbatasan kemampuan fisik	1,40
28	Sedikit atau tidak adanya arti penting dari aktivitas	1,40
29	Level emosi yang tinggi	1,30
30	Adanya gangguan kesehatan khususnya demam	1,20
31	Tingkat kedisiplinan yang rendah	1,20
32	Ketidakkonsistenan dari tampilan atau prosedur	1,20
33	Lingkungan yang buruk atau tidak mendukung	1,15
34	Siklus berulang-ulang yang tinggi dari pekerjaan dengan beban kerja bermental rendah	1,10
35	Terganggunya siklus tidur normal	1,10
36	Melewatkan kegiatan karena intervensi dari orang lain	1,06
37	Penambahan anggota tim yang sebenarnya tidak dibutuhkan	1,03
38	Usia yang melakukan pekerjaan	1,02

Setelah nilai BCF dari EPC ditentukan maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Proportion of Affect* (PA) dengan proporsi antara 0-1 (0 hingga 100%). Semakin besar nilai PA menunjukkan EPC semakin sering terjadi. Nilai HEP suatu aktivitas dapat dihitung setelah nilai *Assessed Effect* (AE) dari tiap EPC pada suatu aktivitas selesai ditentukan dan dikalikan dengan nilai NHEP dari kategorinya. Langkah mengerjakan analisis HEART (modifikasi dari Kirwan, 1996) disajikan pada (gambar 4.5)



Gambar 4. 8 langkah kualifikasi HEART

Berdasarkan EPC, maka dilakukan perhitungan *Assessed Effect* (AE) yang akan terjadi melalui proporsi dari EPC. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumusan sebagai berikut (Wittingham, 2004) :

$$AE = [(BCF - 1) \times PA] + 1$$

dengan : AE = *Assessed Effect* dari EPC yang diidentifikasi

BCF = *Basic Correction Factor* dari EPC

PA = *Proportion of Affect* (kisaran nilai 0-1)

Nilai AE dari satu aktivitas dapat lebih dari 1 tergantung hasil analisa dari observasi assessor. Perhitungan nilai *Human Error Probability* (HEP) dari suatu aktivitas dilakukan dengan cara

perkalian NHEP dari kategori aktivitas tersebut dengan semua nilai AE yang timbul pada aktivitas tersebut. Rumus perhitungan HEP yang diadaptasi dari Wittingham (2004) adalah sebagai berikut

$$HEP = NHEP \times (AE_1 \times AE_2 \times \dots AE_i)$$

dengan :        *HEP = Human Error Probability*  
                     *NHEP = Nominal Human Error Probability*  
    *pada Generic Task*  
                     *AE<sub>i</sub> = Assessed Effect ke-i*  
                     *i = banyaknya EPC yang diidentifikasi*

Contoh perhitungan dalam menentukan nilai HEP.

- Langkah pertama ialah mengklasifikasikan generic task dari kategori yang ada
- Selanjutnya menentukan nilai NHEP sesuai dengan generic task yang dipilih, dalam hal ini untuk kegiatan “*Hot work activity*” yakni Generic Task C dengan nilai NHEP= 0,16.
- Mengidentifikasi EPC (Error Producing Condition) misal EPC no 15 dan EPC no 20 maka didapat BCF 3 untuk EPC no 15 dan 2 untuk EPC no 20
- Lalu menentukan *Proportion of Affect*(PA) dari tiap EPC, misal di tentukan 0,2 untuk AE1 dan 0,3 untuk AE2
- Menghitung Nilai AE (Assesed Effect)

$$\begin{aligned} AE1 &= [(BCF-1) \times PA] + 1 \\ &= [(3-1) \times 0,2] + 1 \\ &= 1,4 \\ AE2 &= [(BCF-1) \times PA] + 1 \\ &= [(2-1) \times 0,3] + 1 \\ &= 1,3 \end{aligned}$$

- Dan yang terakhir yakni menghitung HEP(*Human Error Probability*)

$$\begin{aligned}
 \text{HEP} &= \text{NHEP} \times (\text{AE1} \times \text{AE2} \times \dots \times \text{Aei}) \\
 &= 0,16 \times (1,4 \times 1,3) \\
 &= 0,2912
 \end{aligned}$$

Berikut ini ialah tabel dalam perhitungan mencari nilai HEP dari tiap basic event.

Generic Task dan EPC untuk HEP aktifitas Persiapan Sebelum melakukan Hot Work.

Tabel 4. 5 Menentukan Nilai HEP di kamar mesin

Skip	Task Discription	Generic Task	NHEP	Assesed Effect (AE)				HEP
1	not blow down	F	0,003	EPC no	6	15	31	0,0122112
				BCF	8	3	1,2	
				PA	0,2	0,3	0,3	
				AE ke-i	2,4	1,6	1,06	
2	Checked Area Clear of combustible material	E	0,02	EPC no	31			0,0204
				BCF	1,2			
				PA	0,1			
				AE ke-i	1,02			
3	No measure gas content	H	0,00002	EPC no	6	15	31	0,000147744
				BCF	8	3	1,2	
				PA	0,4	0,4	0,4	
				AE ke-i	3,8	1,8	1,08	
4	Not blow down gas	F	0,003	EPC no	6	15	31	0,0122112
				BCF	8	3	1,2	
				PA	0,2	0,3	0,3	
				AE ke-i	2,4	1,6	1,06	
5	No measure oxygen content	H	0,00002	EPC no	6	15	31	0,000147744
				BCF	8	3	1,2	
				PA	0,4	0,4	0,4	
				AE ke-i	3,8	1,8	1,08	
6	Hot work activity	C	0,16	EPC no	15	20		0,2912
				BCF	3	2		
				PA	0,2	0,3		
				AE ke-i	1,4	1,3		

Setelah didapatkan nilai dari tiap basic event langkah selanjutnya ialah mencari nilai dari top eventnya yakni peluang

terjadinya ledakan/kebakaran. Berikut ini ulasan didapatkan Q dari initial fire/ explosion

$Q_{\text{combustible gas found >LFL1\%}}$

$$= Q_{\text{not blow down}} \times Q_{\text{not checked gas content}}$$

$$= 0,0122112 \times 0,000147$$

$$= 1,8\text{E-}06$$

$Q_{\text{combustible material}}$

$$= Q_{\text{combustible substance}} + Q_{\text{combustible gas present >LFL 1\%}} - (Q_{\text{combustible substance}} \times Q_{\text{combustible gas present >LFL 1\%}})$$

$$= 0,0204 + 1,8\text{E-}06 - (0,0204 \times 1,8\text{E-}06)$$

$$= 0,020404$$

$Q_{\text{oxygen conten > 11\%}}$

$$= Q_{\text{not blow down}} \times Q_{\text{not checked oxygen content}}$$

$$= 0,0122112 \times 0,000147$$

$$= 1,8\text{E-}06$$

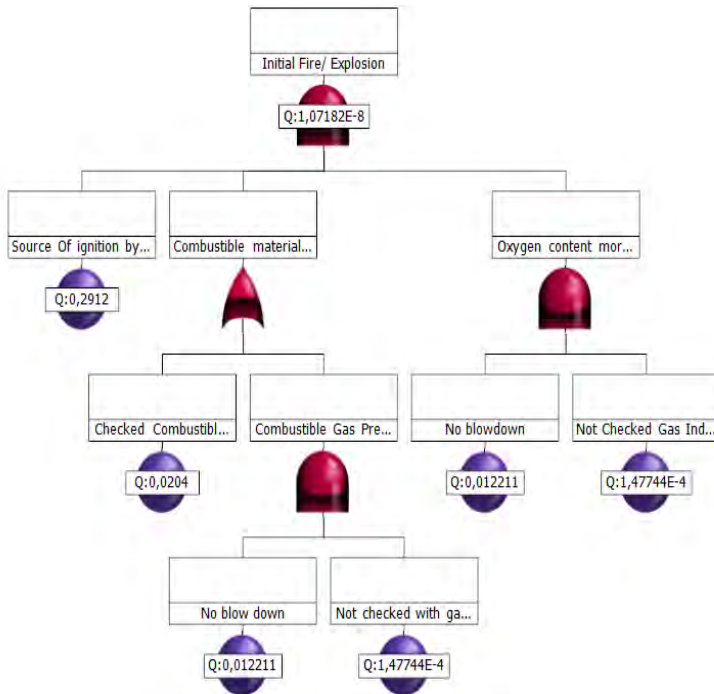
$Q_{\text{initial fire/explosion}}$

$$= Q_{\text{hot work}} \times Q_{\text{combustible material present}} \times Q_{\text{oxygen}}$$

$$= 0,2912 \times 0,020404 \times 1,8\text{E-}06$$

$$= 1,07\text{E-}08$$

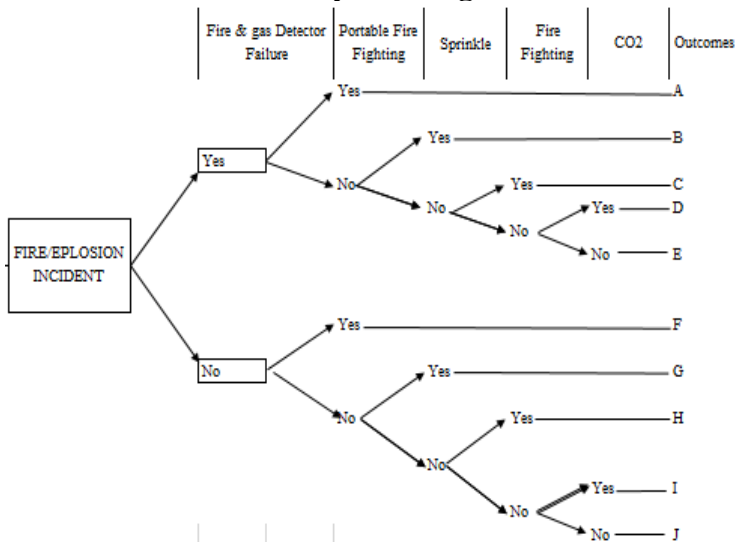
Berikut ini ialah hasil perhitungan dari software relex:



*Gambar 4. 9 diagram hasil FTA di kamar mesin*

Langkah selanjutnya setelah top event didapatkan maka untuk pohon kejadiannya (Event Tree) ialah sebagai berikut:

### 4.3.2 Event Tree analysis in engine room



Gambar 4. 10 Event tree of fire/explosion dikamar mesin

- A. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ada keterlambatan dalam mendeteksi adanya api tetapi berkat kesigapan ABK yang bertugas/Fire watchmen di lokasi api tersebut masih sempat dipadamkan menggunakan portable fire fighting. Dalam kasus seperti ini berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh portable fire fighting ialah sebesar 10%

- B. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ada kelalaian dalam terdeteksinya api & gas dari fire & gas detector sehingga fire watchman tidak sempat menggunakan portable fire fighting. Ketika portable fire fighting tidak sempat digunakan api yang menjalar diasumsikan mengenai sprinkle sehingga sistem sprinkle bekerja dan memadamkan api tersebut. berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh sprinkle ini ialah sebesar 4,5%
- C. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ada kelalaian dalam terdeteksinya api & gas dari fire & gas detector sehingga fire watchman tidak sempat menggunakan portable fire fighting. ketika portable fire fighting tidak sempat digunakan api yang menjalar diasumsikan mengenai sprinkle tetapi sprinkle gagal memadamkan api entah springkle tidak bekerja dengan baik atau dikarenakan sprinkle tidak menjangkau api tersebut maka digunakanlah fire fighting yang biasa dinamakan hydrant untuk menjangkau memadamkan api. maka berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh fire fighting (hydrant) ini ialah sebesar 20%



- D. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ada kelalaian dalam terdeteksinya api & gas dari fire & gas detector sehingga fire watchman tidak sempat menggunakan portable fire fighting. ketika portable fire fighting tidak sempat digunakan api yang menjalar diasumsikan mengenai sprinkle tetapi sprinkle gagal memadamkan api entah springkle tidak bekerja dengan baik atau dikarenakan sprinkle tidak menjangkau api tersebut maka digunakanlah fire fighting yang biasa dinamakan hydrant untuk menjangkau memadamkan api. tetapi dalam kondisinya dari zat yang terbakar yakni flammable gas hydrocarbon ini ternyata tidak dapat dipadamkan menggunakan air, sehingga diasumsikan pemadaman menggunakan hydrant ini tidak berhasil maka captain mengambil langkah terakhir yakni menginstruksikan semua crew yang ada dikamar mesin untuk meninggalkan kamar mesin menuju master station dan menggunakan CO2 system dalam memadamkan kebakaran yang terjadi dikamar mesin. Dimana berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh CO2 system ini ialah sebesar 35% dengan syarat sudah tidak ada lagi orang yang berada dalam kamar mesin
- E. pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ada kelalaian dalam terdeteksinya api & gas dari fire & gas detector sehingga fire watchman tidak sempat menggunakan portable fire fighting. Serta beberapa sistem pemadam seperti sprinkle, fire

fighting(hydrant) bahkan CO2 gagal memadamkan api sehingga captain menginstruksikan untuk meninggalkan kapal dikarenakan api sudah tidak dapat dipadamkan dan kapal sudah tidak memungkinkan lagi untuk diselamatkan.

- F. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan fire & gas detector berhasil mendeteksi adanya api sehingga ABK yang bertugas/Fire watchmen di lokasi api tersebut masih sempat dipadamkan menggunakan portable fire fighting. Dalam kasus seperti ini berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh portable fire fighting ialah sebesar 10%
- G. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan fire & gas detector berhasil mendeteksi adanya api tetapi fire watchman yang menggunakan portable fire fighting. Ketika itu portable fire fighting dirasa kurang dalam memadamkan api sehingga digunakanlah sprinkle dan sistem sprinkle ditambahkan untuk memadamkan api tersebut. berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh sprinkle ini ialah sebesar 4,5%

- H. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan fire & gas detector berhasil mendeteksi adanya api tetapi fire watchman yang menggunakan portable fire fighting. Ketika itu portable fire fighting dirasa kurang dalam memadamkan api sehingga digunakanlah sprinkle dan sistem sprinkle ditambahkan untuk memadamkan api tersebut. Diasumsikan mengenai sprinkle tetapi sprinkle gagal memadamkan api entah springkle tidak bekerja dengan baik atau dikarenakan sprinkle tidak menjangkau api tersebut maka digunakanlah fire fighting yang biasa dinamakan hydrant untuk menjangkau memadamkan api. maka berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh fire fighting (hydrant) ini ialah sebesar 20%
- I. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan ketika terjadi kebakaran atau ledakan fire & gas detector berhasil mendeteksi adanya api tetapi fire watchman yang menggunakan portable fire fighting. Ketika itu portable fire fighting dirasa kurang dalam memadamkan api sehingga digunakanlah sprinkle dan sistem sprinkle ditambahkan untuk memadamkan api tersebut. Diasumsikan mengenai sprinkle tetapi sprinkle gagal memadamkan api entah springkle tidak bekerja dengan baik atau dikarenakan sprinkle tidak menjangkau api tersebut maka digunakanlah fire fighting. tetapi dalam kondisinya dari zat yang terbakar yakni flammable gas hydrocarbon ini ternyata tidak dapat dipadamkan menggunakan air, sehingga

diasumsikan pemadaman menggunakan hydrant ini tidak berhasil maka captain mengambil langkah terakhir yakni menginstruksikan semua crew yang ada dikamar mesin untuk meninggalkan kamar mesin menuju master station dan menggunakan CO2 system dalam memadamkan kebakaran yang terjadi dikamar mesin. Dimana berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh CO2 system ini ialah sebesar 35% dengan syarat sudah tidak ada lagi orang yang berada dalam kamar mesin

- J. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan fire & gas detector berhasil mendeteksi adanya api. Tetapi fire watchman yang menggunakan portable fire fighting. Ketika itu portable fire fighting dirasa kurang dalam memadamkan api, Serta beberapa sistem pemadam seperti sprinkle, fire fighting(hydrant) bahkan CO2 gagal memadamkan api sehingga captain menginstruksikan untuk meninggalkan kapal dikarenakan api sudah tidak dapat dipadamkan dan kapal sudah tidak memungkinkan lagi untuk diselamatkan.

Keterangan diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” Berikut nilai peluang dari tiap komponen:

$$R_{\text{fire\&gas detector}}=0,996725$$

$Q_{\text{fire\&gas detector}}=0,003275$

$R_{\text{portable fire fighting}}=0,1$

$Q_{\text{portable fire fighting}}=0,9$

$R_{\text{sprinkle}}=0,045$

$Q_{\text{sprinkle}}=0,955$

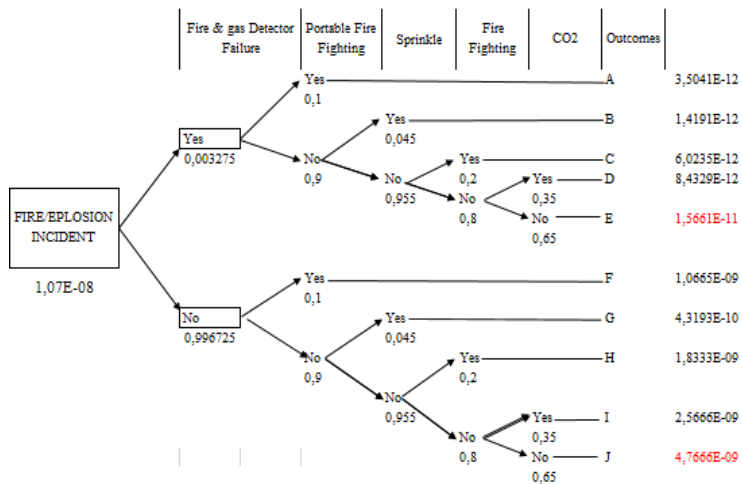
$R_{\text{portable fire fighting}}=0,2$

$Q_{\text{portable fire fighting}}=0,8$

$R_{\text{CO}_2}=0,35$

$Q_{\text{CO}_2}=0,65$

Sehingga nilai dari pohon keadian didapatkan:



Gambar 4. 11 hasil Event tree of fire/explosion incident

Kesimpulan dari ETA diatas ialah didapatkan bahwa hasil yang berwarna hitam menunjukkan kemungkinan api masih dapat dikontrol/dipadamkan sedangkan hasil yang berwarna merah mengindikasikan kemungkinan api sudah tidak dapat dikontrol/dipadamkan berikut ini perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \text{Hitam} &= A+B+C+D+F+G+H+I \\
 &= (3,5\text{E-}12)+(1,4\text{E-}12)+(6,02\text{E-}12)+(8,43\text{E-}12)+(1,066\text{E-}09)+(4,3\text{E-}10)+(1,8\text{E-}09)+2,56\text{E-}09) \\
 &= 5,91\text{E-}09
 \end{aligned}$$

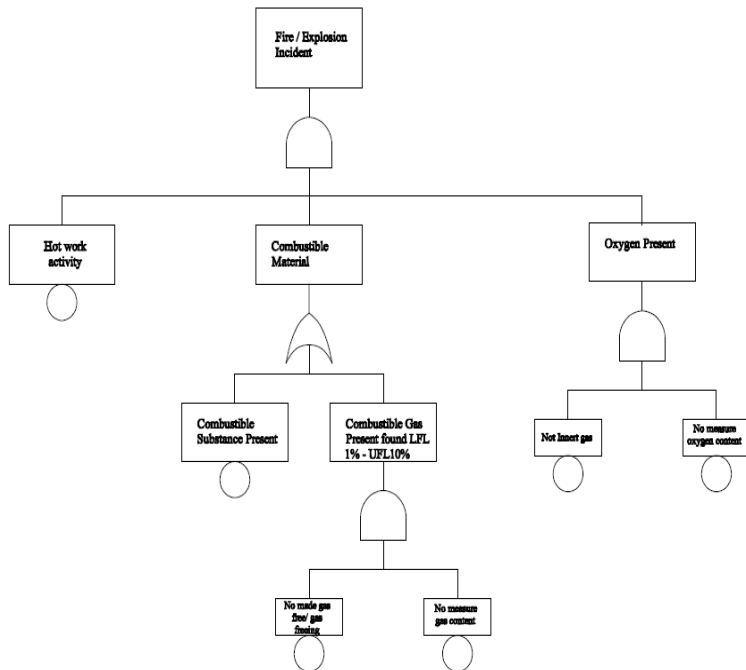
$$\begin{aligned}
 \text{Merah} &= E+J \\
 &= (1,566\text{E-}11)+ (4,76\text{E-}09) \\
 &= 4,78\text{E-}09
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa prosentase api berhasil dipadamkan dan tidak ialah

$$\begin{aligned}
 \text{Hitam} &= [\text{hitam}/(\text{hitam}+\text{merah})] \times 100\% \\
 &= 5,91\text{E-}09 / 1,07\text{E-}08 \times 100\% \\
 &= 55,306\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Merah} &= [\text{merah}/(\text{hitam}+\text{merah})] \times 100\% \\
 &= 4,78\text{E-}09 / 1,07\text{E-}08 \times 100\% \\
 &= 44,694
 \end{aligned}$$

### 4.3.3 Fault Tree analysis in Cargo area



Gambar 4. 12 Diagram FTA di cargo tank

Contoh perhitungan dalam menentukan nilai HEP.

- Langkah pertama ialah mengklasifikasikan generic task dari kategori yang ada
- Selanjutnya menentukan nilai NHEP sesuai dengan generic task yang dipilih, dalam hal ini untuk kegiatan “Hot work activity” yakni Generic Task C dengan nilai NHEP= 0,16.

- Mengidentifikasi EPC (Error Producing Condition) misal EPC no 15 dan EPC no 20 maka didapat BCF 3 untuk EPC no 15 dan 2 untuk EPC no 20
- Lalu menentukan *Proportion of Affect*(PA) dari tiap EPC, misal di tentukan 0,3 untuk AE1 dan 0,3 untuk AE2
- Menghitung Nilai AE (Assesed Effect)

$$\begin{aligned}
 \text{AE1} &= [(\text{BCF}-1) \times \text{PA}] + 1 \\
 &= [(3-1) \times 0,3] + 1 \\
 &= 1,6 \\
 \text{AE2} &= [(\text{BCF}-1) \times \text{PA}] + 1 \\
 &= [(2-1) \times 0,3] + 1 \\
 &= 1,3
 \end{aligned}$$

- Dan yang terakhir yakni menghitung HEP(*Human Error Probability*)

$$\begin{aligned}
 \text{HEP} &= \text{NHEP} \times (\text{AE1} \times \text{AE2} \times \dots \text{Aei}) \\
 &= 0,16 \times (1,6 \times 1,3) \\
 &= 0,3328
 \end{aligned}$$

Berikut ini ialah tabel dalam perhitungan mencari nilai HEP dari tiap basic event dapat dilihat pada (tabel 4.5).

Generic Task dan EPC untuk HEP aktifitas Persiapan Sebelum melakukan Hot Work.



Tabel 4. 6 Menentukan Nilai HEP di Cargo tank

Skip	Task Discription	Generic Task	NHEP	Assesed Effect (AE)			HEP
1	Not gas freeing	F	0,003	EPC no	15	31	0,004452
				BCF	3	1,2	
				PA	0,2	0,3	
				AE ke-i	1,4	1,06	
2	Checked Area Clear of combustible material	E	0,02	EPC no	31		0,0204
				BCF	1,2		
				PA	0,1		
				AE ke-i	1,02		
3	No measure gas content	H	0,00002	EPC no	6	15 31	0,000093312
				BCF	8	3 1,2	
				PA	0,2	0,4 0,4	
				AE ke-i	2,4	1,8 1,08	
4	Not inerted	F	0,003	EPC no	6	15 31	0,0122112
				BCF	8	3 1,2	
				PA	0,2	0,3 0,3	
				AE ke-i	2,4	1,6 1,06	
5	No measure oxygen content	H	0,00002	EPC no	6	15 31	0,000093312
				BCF	8	3 1,2	
				PA	0,2	0,4 0,4	
				AE ke-i	2,4	1,8 1,08	
6	Hot work activity	C	0,16	EPC no	15	20	0,3328
				BCF	3	2	
				PA	0,3	0,3	
				AE ke-i	1,6	1,3	

Setelah didapatkan nilai dari tiap basic event langkah selanjutnya ialah mencari nilai dari top eventnya yakni peluang terjadinya ledakan/kebakaran. Berikut ini ulasan didapatkan Q dari initial fire/ eplosion

$Q_{\text{combustible gas found}} > \text{LFL}1\%$

$$= Q_{\text{not made gas free}} \times Q_{\text{not checked gas content}}$$

$$= 0,004452 \times 0,000093$$

$$= 4,15\text{E-}07$$

$$Q_{\text{combustible material}} = Q_{\text{combustible substance}} + Q_{\text{combustible gas present}} \\ >\text{LFL } 1\% - (Q_{\text{combustible substance}} - Q_{\text{combustible}} \\ \text{gas present } >\text{LFL } 1\%)$$

$$= 0,0204 + 4,15\text{E-}07 - (0,0204 \times \\ 4,15\text{E-}07)$$

$$= 0,0204$$

$$Q_{\text{oxygen conten } > 11\%} = Q_{\text{not inert gas}} \times Q_{\text{not checked oxygen content}}$$

$$= 0,01221 \times 0,000933$$

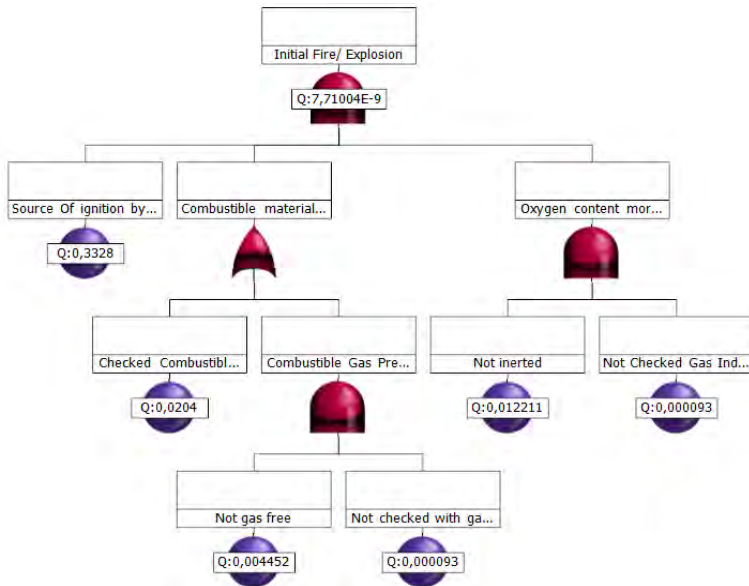
$$= 1,14\text{E-}06$$

$$Q_{\text{initial fire/explosion}} = Q_{\text{hot work}} \times Q_{\text{combustible material}} \times Q_{\text{oxygen}} \\ \text{present}$$

$$= 0,3328 \times 0,0204 \times 1,14\text{E-}06$$

$$= 7,74\text{E-}09$$

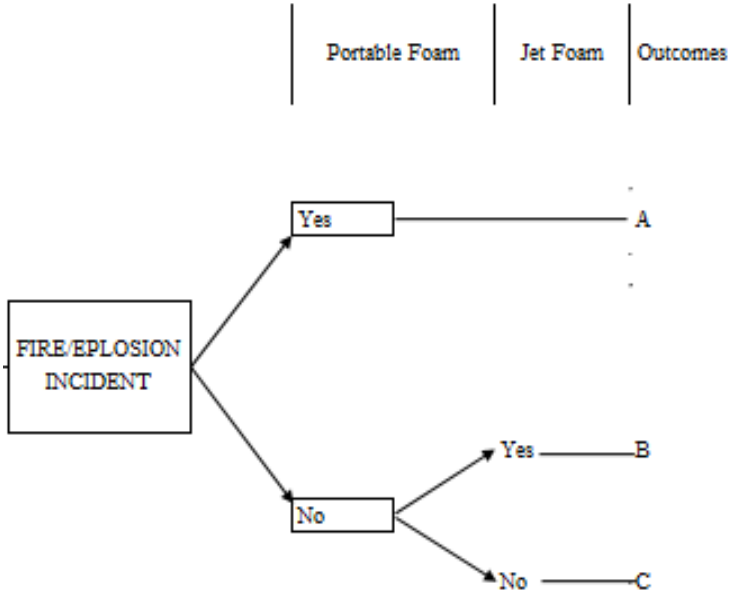
Berikut ini ialah hasil perhitungan dari software relex:



*Gambar 4. 13 diagram hasil FTA di Cargo tank*

Langkah selanjutnya setelah nilai dari top event didapatkan maka dilanjutkan untuk pohon kejadiannya (Event Tree) ialah sebagai berikut:

### 4.3.2 Event Tree analysis in Cargo Tank



Gambar 4. 14 Diagram Event tree of fire/explosion dicargo tank

- A. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau mengetahui indikasi akan timbul api maka fire watchman dengan sigap menggunakan portable fire fighting. sehingga masih ada kemungkinan portable fire bekerja dan memadamkan api tersebut sebelum api bertambah besar. berdasarkan keterangan yang diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.” nilai keberhasilan api tersebut dapat dipadamkan oleh Portable fire fighting ini ialah sebesar 20%

- B. Pada skenario ini dimana ketika akan terjadi kebakaran fire watchman atau ABK yang bertugas lahai dalam mengawasi adanya indikasi timbul api sehingga terlambat ketika hendak menggunakan portable fire fighting. semakin besarnya api nanti akan dipadamkan menggunakan jet foam pada kapal tanker sebelum api bertambah besar atau menjalar keseluruh kapal. diasumsikan bahwa tingkat keberhasilan dalam memadamkan pasca terjadinya kebakaran/ledakan yakni sebesar 35%
- C. J. Pada skenario ini dimana ketika terjadi kebakaran atau ledakan api sudah terlalu besar bahkan jet foam terkena ledakan/terbakar yang mana ledakan di cargo tank 5 sehingga gagal memadamkan api akibatnya captain menginstruksikan untuk meninggalkan kapal dikarenakan api sudah tidak dapat dipadamkan dan kapal sudah tidak memungkinkan lagi untuk diselamatkan.

Keterangan diambil dari “Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space.*” Berikut nilai peluang dari tiap komponen:

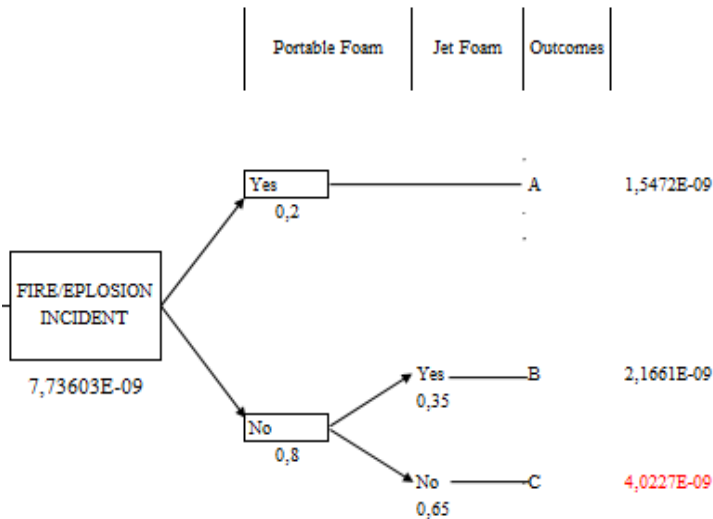
$$R_{\text{portable foam}} = 0,2$$

$$Q_{\text{portable foam}} = 0,8$$

$$R_{\text{jet foam}} = 0,35$$

$$Q_{\text{jet foam}} = 0,65$$

Sehingga nilai dari pohon keadian didapatkan:



*Gambar 4. 15 hasil Event tree of fire/explosion dicargo tank*

Kesimpulan dari ETA diatas ialah didapatkan bahwa hasil yang berwarna hitam menunjukkan kemungkinan api masih dapat dikontrol/dipadamkan sedangkan hasil yang berwarna merah mengindikasikan kemungkinan api sudah tidak dapat dikontrol/dipadamkan berikut ini perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 \text{Hitam} &= A+B \\
 &= (1,54\text{E-}09)+( 2,16\text{E-}09) \\
 &= 3,7\text{E-}09
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Merah} &= C \\
 &= 4,022\text{E-}09
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa prosentase api berhasil dipadamkan dan tidak ialah

$$\begin{aligned}\text{Hitam} &= [\text{hitam}/(\text{hitam}+\text{merah})] \times 100\% \\ &= 3,7\text{E-}09 / 7,73\text{E-}09 \times 100\% \\ &= 48\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Merah} &= [\text{merah}/(\text{hitam}+\text{merah})] \times 100\% \\ &= 4,022\text{E-}09 / 7,73\text{E-}09 \times 100\% \\ &= 52\%\end{aligned}$$

#### **4.4 Analisa Konsekuensi**

Analisa konsekuensi yang dijadikan objek penelitian pada kebakaran/ledakan kapal ketika melakukan perbaikan khususnya ketika melakukan pekerjaan hot work dikamar mesin/engine room dan ruang kargo/cargo area. Dimana diasumsikan di beberapa titik dimana di titik-titik tersebut ada pekerjaan hot work. Sedangkan dalam kamar mesin kita tidak tau resiko apa yang akan terjadi ketika kita melakukan pekerjaan hot work yang mana mungkin saja dapat menyebabkan terjadinya kebakaran maupun ledakan dikarenakan adanya kandungan gas hydrocarbon yang bercampur dengan udara dan oksigen di kamar mesin. Berdasarkan aturan dari ISGOTT kandungan gas hydrocarbon lebih dari LFL 1%-UFL10% bercampur dengan oksigen lebih

dari 11% di udara maka dapat mengakibatkan terjadinya kebakaran ataupun ledakan bila di area kandungan tersebut ada sumber api (dalam hal ini adanya pekerjaan hot work) pekerjaan yang menghasilkan panas begitu juga di ruang kargo atau cargo area.

Berikut skenario dampak yang terjadi di daerah kamar mesin/ engine room apabila adanya pekerjaan hot work disertai kandungan gas hidrokarbon dan oksigen yang bercampur di udara apabila tidak melakukan prosedur yang ada, dalam hal ini saya menggunakan software ALOHA untuk mengetahui seberapa besar area yang tercakup apabila terjadinya ledakan maupun kebakaran.

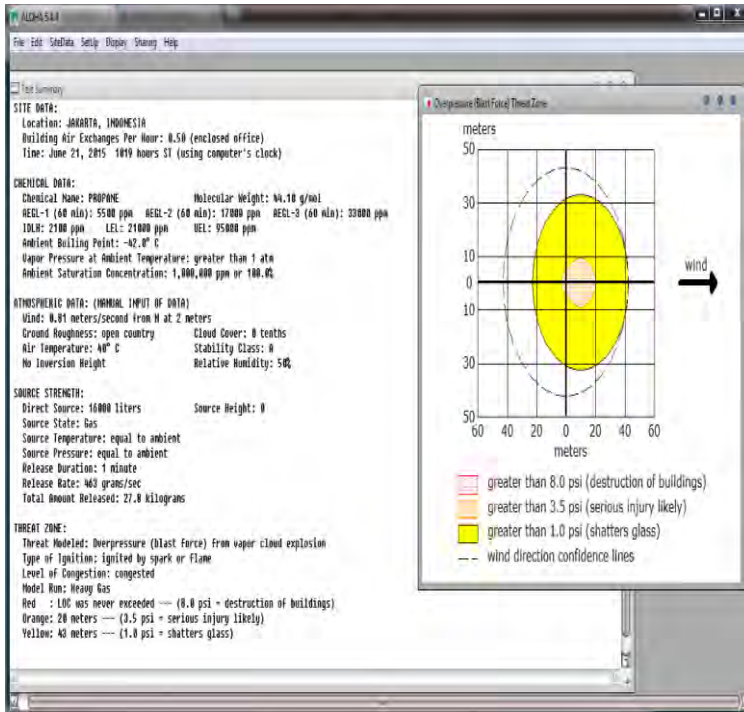
#### **4.4.1 Konsekuensi Kebakaran/Ledakan Di Kamar Mesin (Engine Room)**

Dalam kamar mesin nanti yang ditinjau ada beberapa titik yang menjadi acuan dari terjadinya ledakan/kebakaran apabila di titik tersebut melakukan pekerjaan panas/hot work dan juga di titik-titik tersebut diasumsikan besar dampak ledakan/kebakaran berdasarkan asumsi dari release gas hidrokarbon dari tangki-tangki sekitar yang dibagi menjadi beberapa persentase release atau gas present di udara kamar mesin, sedangkan besar dampaknya nanti akan terlihat dalam software ALOHA, dimana seberapa luas cakupan dari ledakan ataupun kebakaran di titik-titik tersebut. Berikut adalah beberapa scenarionya:

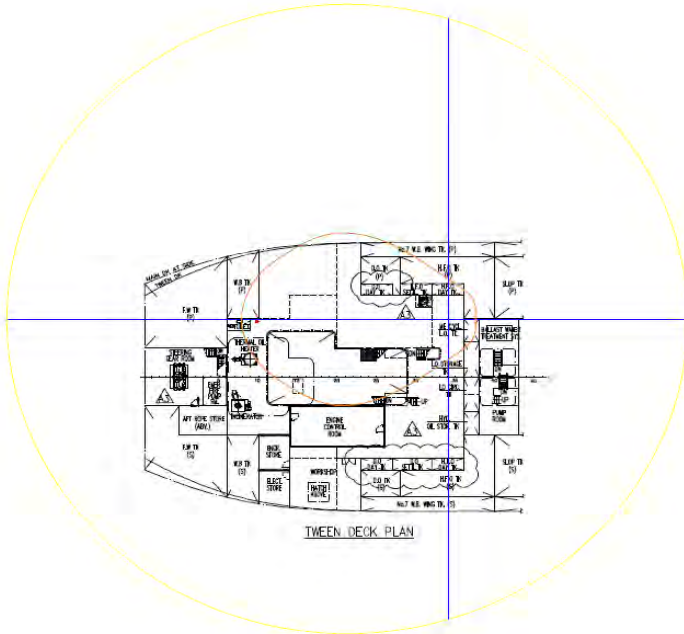
1. Scenario 1A : kebakaran/ledakan di purifier room dengan asumsi uap hidrokarbon dari tanki disekitarnya



diasumsikan uap yang terkandung 50% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 16 m<sup>3</sup>



Gambar 4. 16 Hasil ALOHA Scenario 1A



*Gambar 4. 17 Ledakan scenario 1A*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 20 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 43 meter,

Ket :

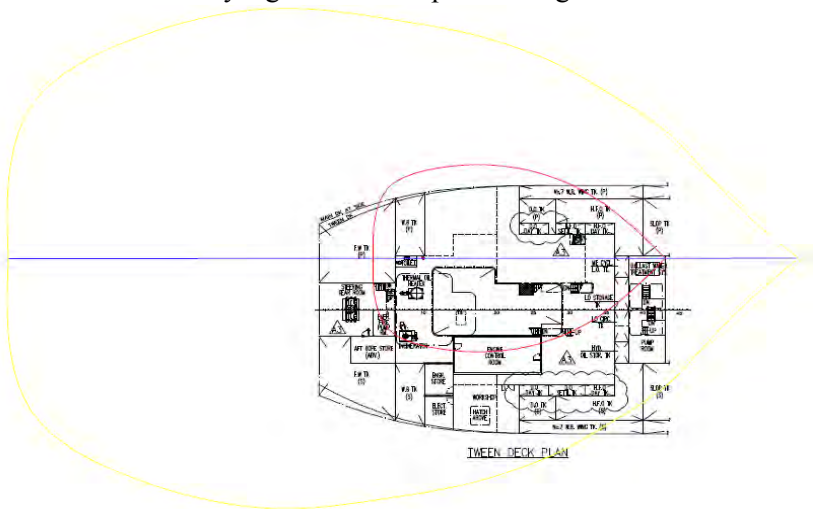
- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1

yang melakukan hot work, dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman,

- Jumlah yang terkena dampak 2 orang



*Gambar 4. 18 Kebakaran scenario 1A*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak kebakaran yang ditandai dengan garis yang berwarna merah dapat mencapai radius sepanjang 30 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 80 meter,

Ket :

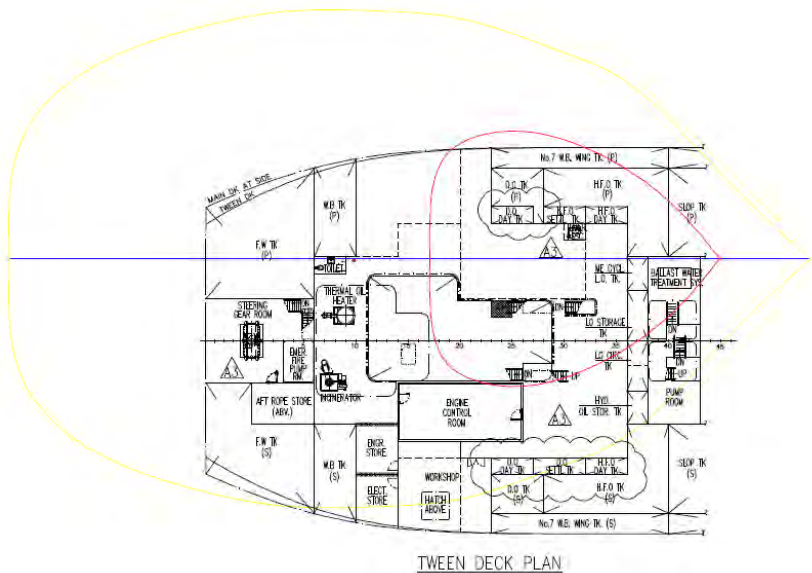
- Merah (12600 ppm = 60% LEL flame pocket)
- Kuning (2100 ppm = 10% )

2. Scenario 1B : kebakaran/ledakan di purifier room dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 25% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 8 m<sup>3</sup>



Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
- Jumlah orang yang terkena dampak berjumlah 2 orang



*Gambar 4. 20 Kebakaran scenario 1B*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak kebakaran yang ditandai dengan garis yang berwarna merah dapat mencapai radius sepanjang 23 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 67 meter,  
Ket :

3. Scenario 1C : kebakaran/ledakan di purifier room dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 10% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 3 m<sup>3</sup>



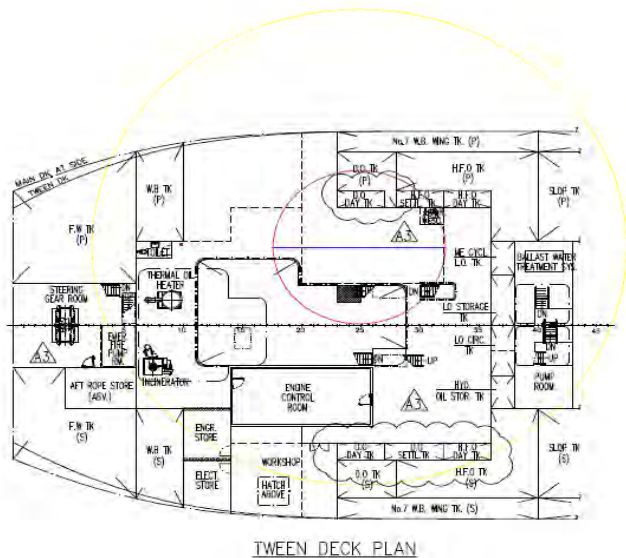
Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 14 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 33 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
- Jumlah orang yang terkena dampak yakni berjumlah 2 orang



*Gambar 4. 22 Kebakaran scenario 1C*

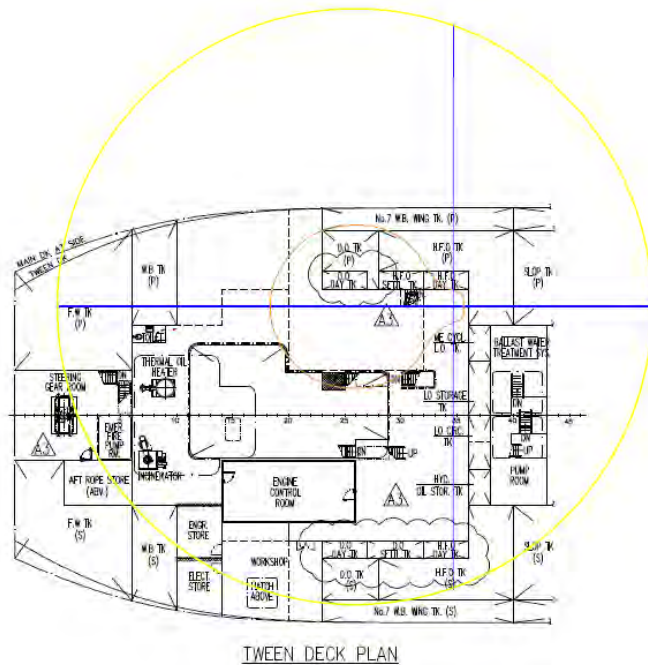
Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak kebakaran yang ditandai dengan garis yang berwarna merah dapat mencapai radius sepanjang 21 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 56 meter,

Ket :

- Merah (12600 ppm = 60% LEL flame pocket)
- Kuning (2100 ppm = 10% )

4. Scenario 1D : kebakaran/ledakan di purifier room dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 5% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar  $1,5 \text{ m}^3$





*Gambar 4. 23 Ledakan scenario 1D*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 12 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 27 meter,

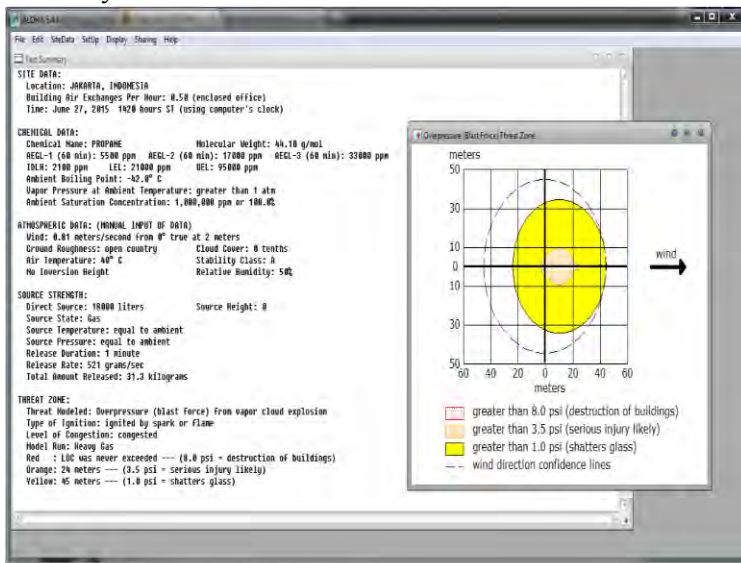
Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
- Jumlah orang yang terkena dampak yakni berjumlah 2 orang

5. Scenario 2A : kebakaran/ledakan di *engine room* dekat/bersebelahan dengan HFO day tangk, HFO settling tank dan DO day tank dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 50% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 18 m<sup>3</sup>



Gambar 4. 24 ALOHA scenario 2A



- 

93

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 15 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 34 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

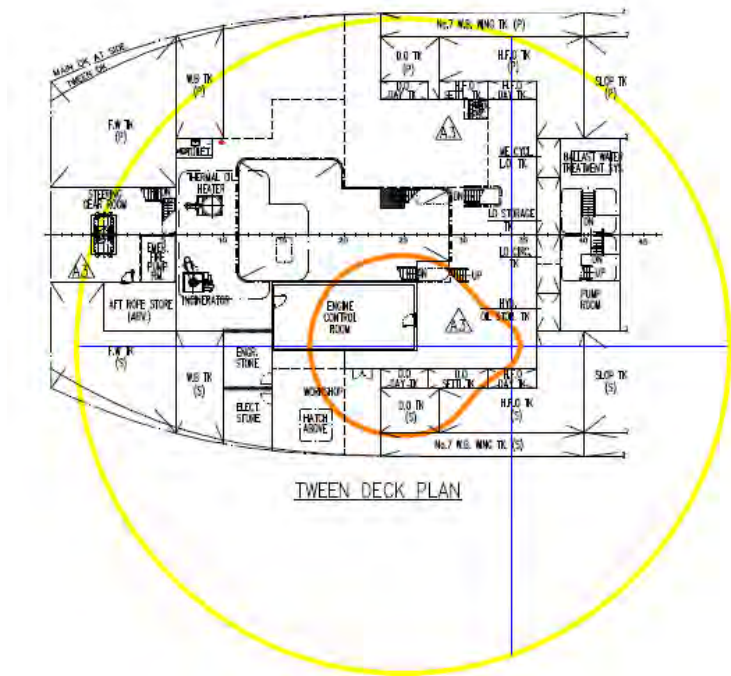
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
- Jumlah orang yang terkena dampak 2 orang

7. Scenario 2C : kebakaran/ledakan di *engine room* dekat/bersebelahan dengan HFO day tangk, HFO settling tank dan DO day tank dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 10% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 3,6 m<sup>3</sup>



- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
  - Jumlah orang yang terkena dampak 2 orang
8. Scenario 2D : kebakaran/ledakan di *engine room* dekat/bersebelahan dengan HFO day tangk, HFO settling tank dan DO day tank dengan asumsi uap hydrocarbon dari tanki disekitarnya diasumsikan uap yang terkandung 5% dari volume tanki disekitarnya yakni sebesar 1,8 m<sup>3</sup>



Gambar 4. 28 Ledakan scenario 2D

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 13 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 28 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.
- Jumlah orang yang terkena dampak 2 orang

#### **4.4.2 Konsekuensi Kebakaran/Ledakan Di Ruang Cargo(*Cargo Area*)**

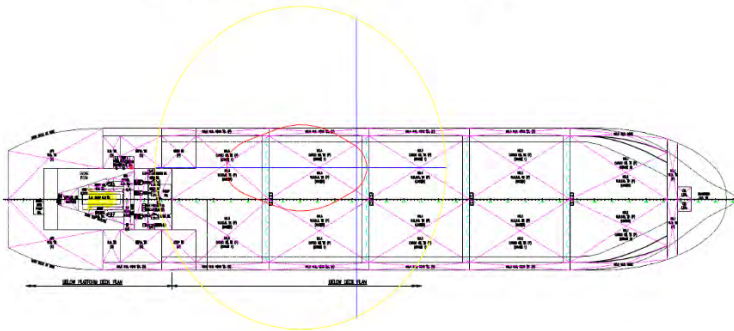
Sedangkan dalam ruang cargo/*cargo area* nanti yang ditinjau ada beberapa titik/di asumsikan dibeberapa cargo tank yang menjadi denah dari terjadinya ledakan/kebakaran apabila di titik tersebut melakukan pekerjaan panas/*hot work* dan juga dititik-titik tersebut diasumsikan besar dampak ledakan/kebakaran berdasarkan asumsi dari releas gas hydrocarbon dari tangki-tangki sekitar yang dibagi menjadi beberapa prosentase releas atau gas present di ruang cargo/*cargo area* dikarenakan masih memungkinkan adanya penguapan/evaporasi dari sisa-sisa muatan, walaupun sudah tersertifikat *gas freeing* dalam kondisi ini(*ballast trip*). sedangkan besar dampaknya nanti akan terlihat dalam software



ALOHA, dimana seberapa luas cakupan dari ledakan atupun kebakaran dititik-titik tersebut. Berikut adalah beberapa scenarionya:

1. Scenario 1A : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.4 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 100% dari volume tanki cargo yang mana untuk
  - panjang = 21,75 m,
  - lebar = 12,35 m,
  - tinggi sisa muatan 10 cm (asumsi risiko terburuk) sehingga didapatkan volumenya sebesar  $26,86 \text{ m}^3$   
 $\Rightarrow 27 \text{ m}^3$

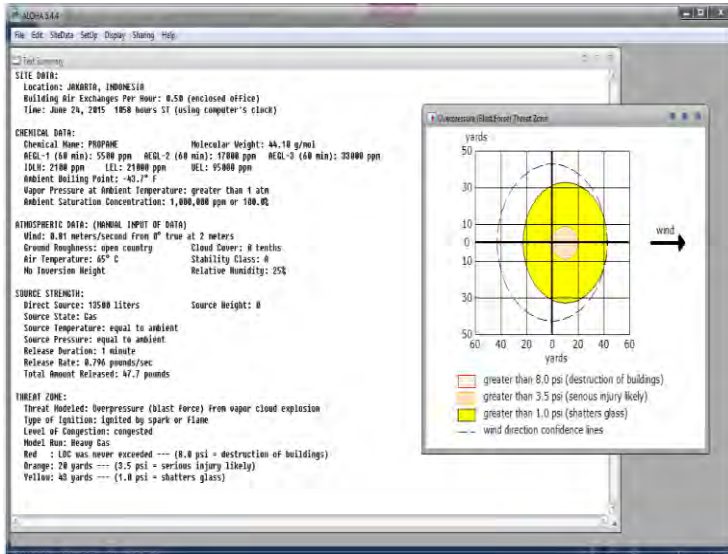
#### Ledakan di cargo tank no.4 PS



Gambar 4. 29 cargo tank scenario 1A

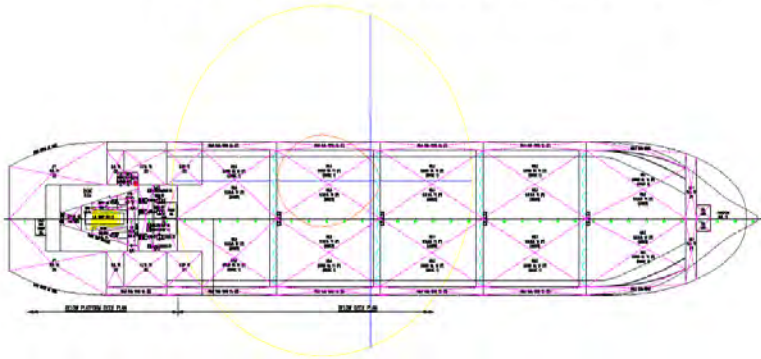
2. Scenario 1B : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.4 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 50% dari

perhitungan scenario 1 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar 13,5 m<sup>3</sup> atau setara dengan 13500 liter.



Gambar 4. 30 Hasil berdasarkan ALOHA scenario 1B

## Ledakan di cargo tank no.4 PS 13500 liter



*Gambar 4. 31 Cargo tank scenario 1B*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 18,28 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 39,32 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

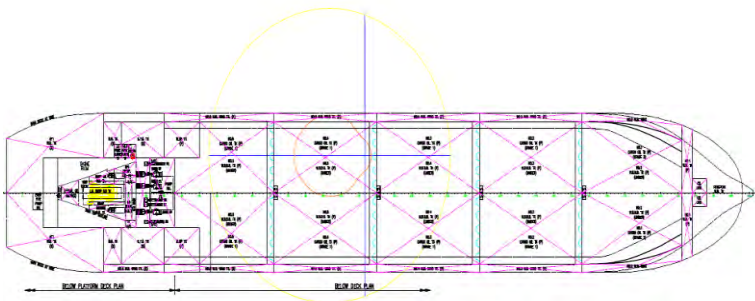
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work titik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

3. Scenario 1C : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.4 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 25% dari perhitungan scenario 1 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar 6,75 m<sup>3</sup> atau setara dengan 6750 liter.

### Ledakan di cargo tank no.4 PS 6750 liter



Gambar 4. 32 Cargo tank scenario 1C

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 13,71 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 31,1 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

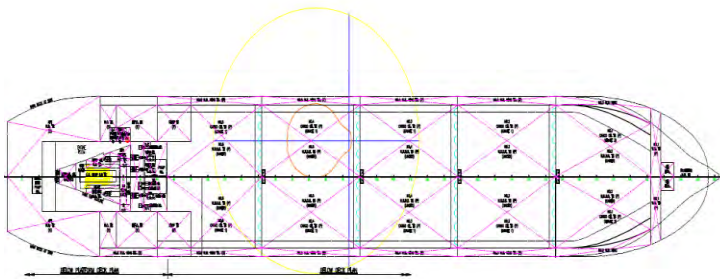
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

4. Scenario 1D : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.4 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 10% dari perhitungan scenario 1 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $2,7 \text{ m}^3$  atau setara dengan 2700 liter.

### Ledakan di cargo tank no.4 PS 2700 liter



Gambar 4. 33 Cargo tank scenario 1D

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 12,8 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 27,43 meter,  
Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)

- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

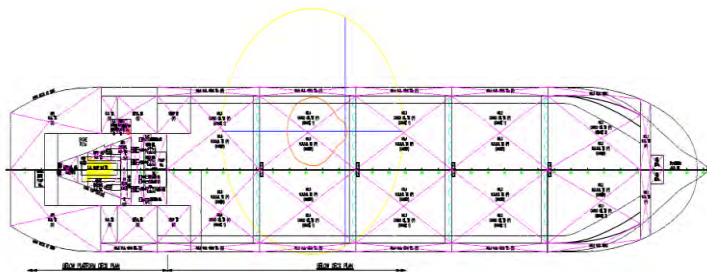
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

5. Scenario 1E : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.4 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 5% dari perhitungan scenario 1 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar 1,35 m<sup>3</sup> atau setara dengan 1350 liter.

### Ledakan di cargo tank no.4 PS 2700 liter



Gambar 4. 34 Cargo tank scenario 1E

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang

berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 11,88 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 25,6 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

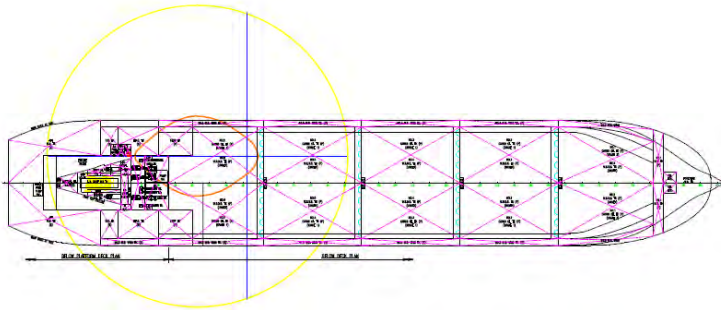
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

6. Scenario 2A : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.5 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 100% dari perhitungan scenario 2 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $19 \text{ m}^3$  atau setara dengan 19000 liter.

# Ledakan 19 m3



*Gambar 4. 35 Cargo tank scenario 2A*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 25 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 45 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

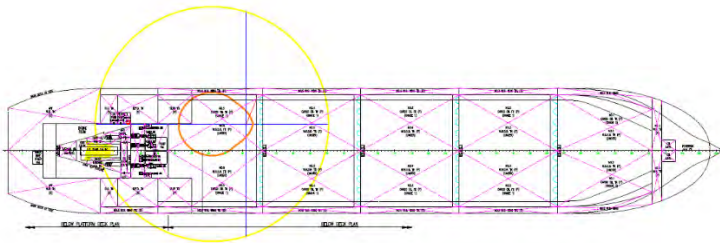
- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang



7. Scenario 2B : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.5 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 50% dari perhitungan scenario 2 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $9,5 \text{ m}^3$  atau setara dengan 9500 liter.

## Ledakan $9.5 \text{ m}^3$



*Gambar 4. 36 Cargo tank scenario 2A*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 15 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 34 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

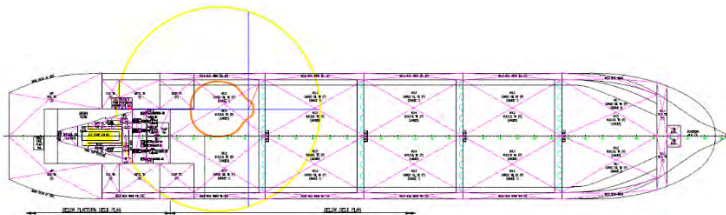
- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1

yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

8. Scenario 2C : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.5 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 25% dari perhitungan scenario 2 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $4,75 \text{ m}^3$  atau setara dengan 4750 liter.

## Ledakan $4.75 \text{ m}^3$



*Gambar 4. 37 Cargo tank scenario 2C*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 13 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 30 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)

- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

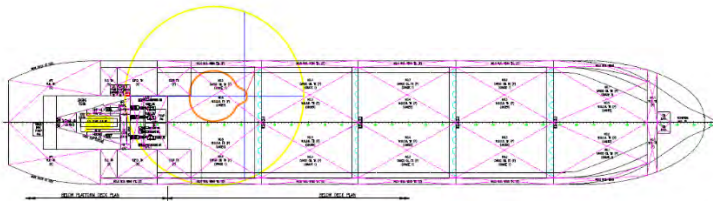
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

9. Scenario 2D : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.5 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 10% dari perhitungan scenario 2 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $1,9 \text{ m}^3$  atau setara dengan 1900 liter.

## Ledakan $1.9 \text{ m}^3$



*Gambar 4. 38 Cargo tank scenario 2D*

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak leadakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 12

meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 27 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

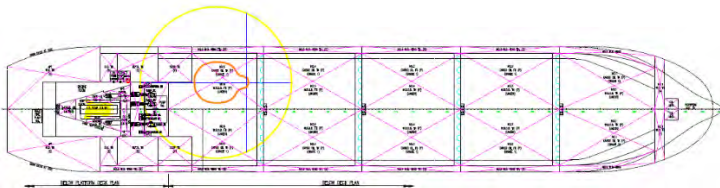
Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

10. Scenario 2E : kebakaran/ledakan di ruang cargo no.5 dengan asumsi uap hydrocarbon dari sisa-sisa muatan diasumsikan uap yang terkandung 5% dari perhitungan scenario 2 sehingga didapatkan uap yang terkandung sebesar  $0,95 \text{ m}^3$  atau setara dengan 950 liter.

## Ledakan $0.95 \text{ m}^3$



Gambar 4. 39 Cargo tank scenario 2E

Dari gambar diatas berdasarkan hasil dari ALOHA dampak ledakan yang ditandai dengan garis yang berwarna orange dapat mencapai radius sepanjang 12 meter, sedangkan dampak dari garis yang berwarna kuning dapat mencapai radius sepanjang 24 meter,

Ket :

- Orange (3,5 psi = serious injury likely/kemungkinan menyebabkan cedera yang serius)
- Kuning (1,0 psi = shatters glass/dapat menghancurkan kaca)

Diasumsikan bahwa:

- Jumlah orang pada saat melakukan pekerjaan hot work dititik tersebut sebanyak 2 orang yakni 1 yang melakukan hot work dan yang 1 nya lagi sebagai firewatchman.

Sehingga jumlah korban yang terkena dampak ledakan/kebakaran berjumlah 2 orang

#### 4.5 Evaluasi Risiko

Besar kecilnya suatu risiko ialah tergantung dari *probabilitas* (kemungkinan kejadian/suatu event itu terjadi) dan *consequence* (konsekuensinya apabila terjadinya suatu kejadian/event tersebut). Jadi risiko merupakan hasil perkalian antara probabilitas dan konsekuensi. Apabila konsekuensinya besar belum tentu nilai resiko tersebut dikatakan besar tergantung dari probabilitasnya juga, berikut rumus dari risiko (*risk*):

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Consequence}$$

Setelah nilai risiko sudah diketahui langkah selanjutnya ialah memberikan tolak ukur/dibandingkan pada nilai risiko tersebut bahwa apakah nilai risiko tersebut bisa diterima atau tidak. Jika risk sudah dibawah tolerable kriteria maka kegiatan dapat

dilakukan namun jika masih diatas acceptance kriteria maka perlu dilakukan pencegahan/pengurangan risiko atau yang disebut dengan mitigasi sehingga risiko akhir dari kegiatan tersebut dapat diterima. Hal ini mengacu pada yang dinamakan dengan *risk criteria*. Dalam tugas akhir ini yang digunakan sebagai standart penilaian risiko/risk criteria nya ialah Risk matrix berdasarkan IMO. Salah satu metode dalam menentukan evaluasi resiko ini terdiri dari hubungan antara Frequency index (FI) dengan Severity Index (SI). Dengan memutuskan untuk menggunakan skala logaritmik, indeks risiko untuk peringkat tujuan acara dinilai “remote” (FI=3) dengan keparahan “signifikan” (SI = 2) sehingga nilai RI = 5

### **10.5.1 Penilaian Risiko Kebakaran/Ledakan Di Kamar Mesin(Engine Room)**

Dikarenakan dalam penilaian risiko menggunakan hubungan frekuensi dari kejadian maka probabilitas/peluang terjadinya kebakaran/ledakan dikamar mesin yang sudah dihitung diubah dalam bentuk frekuensi terjadinya kebakaran/ledakan saat adanya pekerjaan hot work di kamar mesin tiap setahunnya.

$$Q_{\text{initial fire/explosion}} = 1,07\text{E-}08$$

Yang artinya bahwa dalam 100000000 kali adanya pekerjaan hot work terdapat 1 kali pekerjaan yang mengalami kegagalan dalam pekerjaannya/mengalami kebakaran/ledakan. Diasumsikan bahwa dalam kurun waktu satu tahun ada 5 kali aktivitas pekerjaan hot work/ pekerjaan panas. Maka :

$$\begin{aligned}\text{Frekuensi} &= 2/100000000 \times 5 \\ &= 4.10^{-7} \text{ (incident per shipyear)}\end{aligned}$$

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	$10^{-3}$
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	$10^{-5}$

*Gambar 4. 40 hasil (FI) di kamar mesin*

Dari hasil diatas nilain frequency index (FI) yakni “extremely remote” (FI=1)

Sedangkan untuk efek pada keselamatan manusia serta effect yang terkena dikapal berdasarkan hasil cakupan bila terjadinya ledakan/ kebakaran dititik tersebut dari software ALOHA ialah termasuk tingkat “severity” yakni (SI=3).

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

*Gambar 4. 41 hasil (SI) di engine room*

Jadi dari gambar diatas dapat ditentukan untuk kategori risk indeks nya ialah

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1	2	3	4
		Minor	Significant	Severe	Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

Gambar 4. 42 hasil (RI) di kamar mesin

Dikarenakan acceptance criteria untuk risk index pada IMO belum terlalu jelas batas levelnya (apakah termasuk *low risk*, ALARP, dan *high risk*) maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengeplotan kejadian kedalam standar risk matrix yang telah diberlakukan untuk penelitian sebelumnya yakni tesis dari Anissa Nurmawati (2015) dimana tabel probability, consequence, dan risk matrix adalah seperti Tabel 4.6 , Tabel 4. 7, Tabel 4. 8 berikut:

Tabel 4. 7 Definisi frequency (sumber: Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway)

Level	Description	Indicate frequency (per year)	Definition
A	Frequent	> 0.5	Will occur frequently
B	Probable	0.5 - 0.05	May occur several times
C	Occasional	0.05 - 0.005	Likely to occur during lifetime
D	Remote	0.005 - 0.0005	Unlikely to occur during lifetime
E	Improbable	0.0005 >	Event so unlikely, may never be experience



Tabel 4. 8 Definisi severity (sumber: Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway)

Definition of levels of severity					
Consequence class		1	2	3	4
		Minor	Major	Critical	Catastrophic
Human/ Crew persona 3rd party		Minor injury	Serious injur	One fatality	Several fatalities
		No injury	Minor injury	Serious injur	Fatalities
Environmental		Negligible Pollution	Pollution reportable to regulatory authorities. Minor release. No long-term effect on	Pollution reportable to regulatory authorities. Major release. Limited effect on	Pollution reportable to regulatory authorities. Uncontrolled pollution. Longterm effect on
Material/Assets	Company Propertie s/ship	Minor damage. Possible to repair on board	Damage. Required seeking port and/or a longer stay in port to	Major damage. Yard repair required	Loss of vessel
	Downtime	Negligible downtime	Downtime up to one	Downtime up to one	Downtime more than one week
	Reputation	Negligible or no loss of reputation	Reputation affected locally (terminal, port authorities).	Reputation affected at national level. Noted in industry	Major public interest. Loss of reputation in the industry
	3rd party Assets	No effect on 3rd party	Minor damage to 3rd Party assets close to the ship. Short repair duration	Minor damage to 3rd Party assets in the vicinity of the ship. Long repair duration	Extensive damage to party assets. Considerate consequences

*Tabel 4. 9 Risk matrix (sumber: Anissa Nurmawati 2015, DNV .2003 Risk Management in Marine & Subsea Operatio, Veritasveien, Norway)*

		SEVERITY			
		1	2	3	4
LIKEHOOD	A	M	H	H	H
	B	M	M	H	H
	C	L	M	M	H
	D	L	L	M	M
	E	L	L	L	L

Dari hasil analisis diatas bahwa indikasi frekuensinya pada level E (*improbable*) sedangkan *severity level consequence* pada manusia yakni pada level 3 (*one fatalities/serious injury*). Sehingga penilaian riskonya :

*Tabel 4. 10 Risk Matrix dikamar mesin*

		SEVERITY			
		1	2	3	4
LIKEHOOD	A	M	H	H	H
	B	M	M	H	H
	C	L	M	M	H
	D	L	L	M	M
	E	L	L	L	L

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penilaian risiko kebakaran/ledakan dikamar mesin masih berada pada level *low risk*

### 10.5.2 Penilaian Risiko Kebakaran/Ledakan Di Ruang Cargo(Cargo Area)

Dikarenakan dalam penilaian risiko menggunakan hubungan frekuensi dari kejadian maka probabilitas/peluang terjadinya kebakaran/ledakan diruang cargo/ cargo area yang sudah dihitung diubah dalam bentuk frekuensi terjadinya kebakaran/ledakan saat adanya pekerjaan hotwork di cargo area tiap setahunnya.

$$Q_{\text{initial fire/explosion}} = 7,74\text{E-}09$$

Yang artinya bahwa dalam 1000000000 kali adanya pekerjaan hot work terdapat 8 kali pekerjaan yang mengalami kegagalan dalam pekerjaanya/ mengalami kebakaran/ledakan. Diasumsikan bahwa dalam kurun waktu satu tahun ada 1 kali aktivitas pekerjaan hot work/ pekerjaan panas dicargo tank. Maka :

$$\begin{aligned}\text{Frekuensi} &= 8/1000000000 \times 1 \\ &= 8.10^{-9} \text{ (incident per shipyear)}\end{aligned}$$

Frequency Index			
FI	FREQUENCY	DEFINITION	F (per ship year)
7	Frequent	Likely to occur once per month on one ship	10
5	Reasonably probable	Likely to occur once per year in a fleet of 10 ships, i.e. likely to occur a few times during the ship's life	0.1
3	Remote	Likely to occur once per year in a fleet of 1000 ships, i.e. likely to occur in the total life of several similar ships	$10^{-3}$
1	Extremely remote	Likely to occur once in the lifetime (20 years) of a world fleet of 5000 ships.	$10^{-5}$

*Gambar 4. 43 hasil (FI) di cargo tank*

Dari hasil diatas nilai frequency index (FI) yakni “extremely remote” (FI=1)

Sedangkan untuk efek pada keselamatan manusia serta effect yang terkena dikapal berdasarkan hasil cakupan bila terjadinya ledakan/ kebakaran dititik tersebut dari software ALOHA ialah termasuk tingkat “severity” yakni (SI=3).

Severity Index				
SI	SEVERITY	EFFECTS ON HUMAN SAFETY	EFFECTS ON SHIP	S (Equivalent fatalities)
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01
2	Significant	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
3	Severe	Single fatality or multiple severe injuries	Severe damage	1
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10

*Gambar 4. 44 hasil (SI) di cargo tank*

Jadi dari gambar diatas dapat ditentukan untuk kategori risk indeks nya ialah

Risk Index (RI)					
FI	FREQUENCY	SEVERITY (SI)			
		1 Minor	2 Significant	3 Severe	4 Catastrophic
7	Frequent	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	Reasonably probable	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	Remote	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	Extremely remote	2	3	4	5

*Gambar 4. 45 hasil (RI) di kamar mesin*

Dikarenakan acceptance criteria untuk risk index pada IMO belum terlalu jelas batas levelnya (apakah termasuk low risk, ALARP, dan high risk) maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengeplotan kejadian kedalam standar risk matrix yang telah diberlakukan untuk penelitian sebelumnya yakni tesis dari Anissa Nurmawati (2015) dimana tabel probability,

consequence, dan risk matrix adalah seperti Tabel 4.6 , Tabel 4. 7, Tabel 4. 8 sebelumnya:

Dari hasil analisis diatas bahwa indikasi frekuensinya pada level E *improbable* sedangkan severity level consequence pada manusia yakni pada level 4 (*several fatalities/fatalities*). Sehingga penilaian riskonya :

Tabel 4. 11 Risk Matrix diCargo tank

		SEVERITY			
		1	2	3	4
LIKEHOOD	A	M	H	H	H
	B	M	M	H	H
	C	L	M	M	H
	D	L	L	M	M
	E	L	L	L	L

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penilaian risiko kebakaran/ledakan dikamar mesin masih berada pada level *low risk*

#### 4.6 Risk Control

Pada sub bab skripsi kali ini yang dinamakan dengan risk control ialah salah satu contoh tindakan untuk mengurangi risiko dan dampak kebakaran dan ledakan yang dapat terjadi di ruang mesin diakrenakan adanya pekerjaan panas (*hot work*) berikut ialah beberapa cara tersebut:

1. Jika pekerjaan panas yang dilakukan diluar ruang mesin atau didalam tanki bunker atau pipa mungkin mudah terbakar karena adanya zat hidrokarbon hal ini

harus dipertimbangkan. *Hot work* harus dilakukan diluar ruang mesin hanya jika tidak ada metode lain dari perbaikan yang dapat digunakan. Alternatif untuk pekerjaan *hot work* termasuk pembuatan perbaikan seperti *cold work* atau pelepasan part/komponen dan perbaikannya diruang mesin.

2. Diluar ruang mesin, pekerjaan panas (*hot work*) dapat dilakukan hanya jika ruangan tersebut *gas free* atau bebas gas dan jika pekerjaan dilakukan sesuai dengan peraturan nasional dan internasional dan dengan mempertimbangkan persyaratan dari pelabuhan atau terminal, dan sejalan dengan prosedur ijin kerja pada (*hot work*)
3. Ijin kerja panas sangat diperlukan juga didalam ruang mesin ketika adanya operasi/proses cargo, ballast, *tank washing*, *inert gas* dll.

#### **4.6.1 Merencanakan Hot Work**

Master kapal memutuskan apakah ada cukup alasan untuk melakukan pekerjaan panas, apakah aman untuk perform dan yang mana merupakan tindakan yang diperlukan yang harus diambil. Kerja panas diluar ruang mesin tidak dapat dijalankan sampai master telah setuju dengan perusahaan kapal atau operator pada prosedur.

Sebelum kerja panas dimulai, rapat keamanan dipimpin oleh master harus diadakan dimana semua anggota crew yang terlibat ambil bagian dalam pekerjaan panas. Dalam rapat, pekerjaan yang direncanakan dan tindakan pencegahan tentang itu dibahas secara rinci. Dalam rencananya, petugas harus diberi nama yang bertanggung jawab untuk mengawasi pelaksanaan dari pekerjaan dan seorang perwira yang bertanggung jawab untuk pencegahan, yang meliputi komunikasi dengan dan antara pihak yang berbeda.

Semua orang yang mengambil bagian dalam pekerjaan dan persiapan untuk melakukan pekerjaan telah dijelaskan tugas khusus mereka. Setiap orang harus juga mengetahui yang mana petugas pengawas pekerjaan dan yang mana yang bertanggung jawab untuk tindakan pencegahan.

Sebuah ijin kerja panas dikeluarkan hanya untuk ditentukan periode waktu dan untuk orang tertentu. Itu keabsahan izin kerja panas tidak dapat melebihi satu hari kerja.

#### **4.6.2 Persiapan Untuk Melakukan Hot Work**

Jika pekerjaan panas terganggu untuk beberapa alasan, semua tindakan pencegahan harus kembali diperiksa, dan ijin kerja panas baru harus dikeluarkan sebelum pekerjaan panas kembali. Semua jenis pekerjaan panas disekat dari bunker tank atau pelaksanaan kerja panas minimal berjarak 0,5 meter dari sekat.

#### **4.6.3 Hot Work pada Perpipa**

Hot work pada katup dan pipa harus diizinkan hanya jika bagian yang mana perlu diperbaiki pertama terlepas dari sistem atau yang biasa disebut dengan pekerjaan dingin (cold work) dan jika terbuka dari sistem tersisa telah ditutup. Bagian yang diperbaiki ialah yang bersih dan dibuat aman untuk pekerjaan panas (hot work), bahkan jika hal itu telah dihapus ke daerah yang aman untuk pekerjaan panas, misalnya, untuk ke bengkel mesin (workshop).

Bagian-bagian dari sistem pemanas cargo harus dibuka dan dibersihkan untuk dihilangkan dari kemungkinan masih adanya zat hydracarbon.

#### **4.6.4 Officer yang Bertanggung Jawab untuk Keamanan dari Pekerjaan Panas (Hot Work)**

Memastikan bahwa :

- Kandungan oxygen ialah 11% dari volume sebelum kerja dimulai (untuk di kamar mesin), sedangkan di ruang cargo kandungan oxygen ialah tidak boleh lebih dari 21% dari volume sebelum kerja dimulai
- Kandungan dari gas yang mudah terbakar (flammable gases) tidak boleh melebihi 1% LEL sebelum kerja dimulai
- Terdapat cukup peralatan fire fighting yang siap untuk sewaktu-waktu digunakan
- Penjaga api (fire watchman) ada selama pekerjaan panas (hot work) berlangsung
- Penjaga api (fire watchman) juga mengawasi, jika mungkin, daerah disekitar wilayah kerja panas (hot work) yang masih mungkin dalam bahaya
- Daerah sekitar kerja panas telah dilindungi terhadap pengelasan bunga api dan bahwa pemadaman bunga api telah tersusun
- Ventilasi di area kerja kontinu dan cukup
- Kandungan oksigen dan gas yang mudah terbakar diukur secara berkala selama melakukan kerja dan sebelum dimulainya kembali kerja setelah adanya istirahat/ break

Jika pekerjaan panasnya ialah mengelas, maka kondisi dari peralatan las/welding harus diperiksa. Apalagi jika pengelasan dilakukan dengan menggunakan listrik, berikut ini harus diperiksa:

- ✓ Bahwa sambungan listrik dari peralatan las berada dalam keadaan bebas gas
- ✓ Bahwa isolasi kabel listrik yang berada di deck tidak rusak



- ✓ Bahwa kabel telah ditarik ke lokasi pekerjaan menggunakan rute yang mungkin paling aman dan bahwa rute kabel terletak hanya di area yang telah di inerted atau dibuat bebas gas/gas free

Note : jika situasi atau kondisi yang memiliki dasar untuk ijin hot work berubah, ijin tersebut kadaluarsa dan hot work harus dihentikan. Pekerjaan hanya dapat dilanjutkan hanya setelah semua keamanan diperiksa telah dilakukan lagi dan ijin hot work baru telah diberikan

## **BAB V**

### **Kesimpulan dan Saran**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan dan analisis diatas maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Tingkat risiko ledakan/kebakaran pada saat kapal adanya perbaikan hot work di ruang mesin ialah pada daerah yang mana risiko masih dapat diterima (*low risk*), dikarenakan dari hasil kajian diatas frekuensi terjadinya kejadian ledakan/kebakaran dikamar mesin adalah  $4.10^{-7}$  incident per shipyear kategori *improbable*, walaupun konsekuensi yang terjadi dapat menyebabkan dampak serious injury pada crew atau kategori cukup besar (*critical*).
- Sedangkan tingkat risiko ledakan/kebakaran pada saat kapal adanya perbaikan hot work di cargo tank ialah pada daerah yang mana risiko masih dapat diterima (*low risk*), dikarenakan dari hasil kajian diatas frekuensi terjadinya kejadian ledakan/kebakaran dicargo tank adalah  $8.10^{-9}$  incident per shipyear kategori *improbable*, walaupun konsekuensi yang terjadi dapat menyebabkan dampak fatalities pada crew atau kategori sangat besar (*catastrophic*).
- Berdasarkan hasil kajian penilaian risiko diatas dapat disimpulkan kecelakaan ketika melakukan pekerjaan panas lebih disebabkan karena kelalaian dari faktor manusianya yang kurang disiplin untuk mematuhi prosedur (SOP) yang ada. Jika melihat dari SOP yang ada sudah bagus, oleh karenanya pengimplentasian

dari SOP itu wajib dilakukan. Sehingga perlunya pihak yang memonitor bahwa SOP tersebut sudah dilakukan semua atau ada satu point yang terlewatkan tidak.

## **5.2 Saran**

- Direkomendasikan bahwa setiap hendak melakukan pekerjaan panas/hot work selalu mengikuti prosedur yang ada dimana setiap checklist yang ada harus ditandai bahwa setiap point-point tersebut sudah dilakukan yang disaksikan oleh pihak yang bertanggung jawab.
- Penjaga api (fire watchman) selalu siap portable fire fighting (portable CO2) ada selama pekerjaan panas (hot work) berlangsung bahkan setelah pekerjaan panas selesai diusahakan fire watchman masih berjaga disekitar area kerja setelah beberapa menit setelah pekerjaan selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artana, Ketut Buda. [2013]. *Penilaian Resiko Pipa Gas Bawah Laut*. Guna Widya
- Embankment, Albert. [2002]. *Guidelines For Formal Safety Assessment (FSA) For Use In The Imo Rule-Making Proccess*. IMO
- Henley, E.J. and Hiromitsu Kumamoto [1992], *Probabilistic Risk Assessment : reliability Engineering, Design, and Analysis*, IEEE Press, New York.
- Handayani, Suci Nurhadini. [2014]. *Sistem Keselamatan Kerja Nelayan Pada Perikanan Soma Pajeko (Mini Purse Seine) Di bitung*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor
- Kristiansen, Svein. [2005]. *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis*. Oxford, UK
- Lewis, Steve. 2007. *Risk Criteria – When Low Enough Good Enough?* . Ristec Solutions Limited
- Lindgren, Katarina. [2009]. *Safety Assessment for Oil Tankers and Container Vessels Focused on Fire and Explosion In the Machinery Space*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety Lund University, Sweden
- Nurmawati, Anissa. 2015. *Penilaian Risiko Tubrukan Kapal Di Sekitar Buoy 12 Perairan Selat Madura Melalui Proses Formal Safety Assessment (FSA)*. Teknik Sistem Perkapalan. ITS.

Priyanta, Dwi. [2000]. *Keandalan dan perawatan. Teknik Sistem Perkapalan*. ITS.

Yolanda, Fijanatin. 2014. *Analisis Risiko Sosial Pada Terminal Penerima LNG Pesanggaran Dengan Metode Fire And Explosion Modelling: Studi Kasus Terminal Penerima LNG Pesanggaran*. Teknik Sistem Perkapalan. ITS.

Shipping, International Chamber. [1998] *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)*. ICS

*Occupational Safety & Health Administration (OSHA)*

<http://www.thamescenter.com/program-training/hsp-academy/hazop-training.html>

<http://marineinside.wordpress.com/>

Komite Nasional Keselamatan Transportasi

## **LAMPIRAN**

## CHECK LIST no 1

### HOT WORK PERMIT – Untuk Kamar Mesin

VESSEL:  Date:

Description and location of work:

Duration of Permit - From:  To:

Note : Maximum duration of Permit is only 12 hours

1. Risk Assessment has been Carried out untuk pekerjaan panas.
2. Menulis rencana persiapan untuk melakukan pekerjaan perbaikan, didiskusikan dan disetujui oleh semua pihak yang memiliki tanggung jawab dalam hubungannya dengan pekerjaan panas.
3. Area bebas dari bahan yang mudah terbakar.
4. Daerah yang bersangkutan di periksa dengan indicator gas yang mudah terbakar untuk uap hydrocarbon dan ditemukan kurang dari 1% LFL. Waktu pengetesan.....
5. Apakah Area disekitarnya telah dibuat aman ?
6. Apakah peralatan atau perpipaan telah dikosongkan ?
7. Apakah peralatan perpipaan diberi gas free ?
8. Apakah peralatan atau perpipaan bebas dari cairan ?
9. Apakah peralatan elektrik terisolasi dengan baik ?
10. Diberi Ventilasi yang mencukupi.
11. Tidak boleh adanya proses transfer bahan bakar.
12. Peralatan welding/gas-cutting harus dalam kondisi yang bagus.
13. Fire watchman posted/ di instruksikan.
14. Komunikasi didirikan antara fire watchman dan bridge.
15. Keadaan darurat didiskusikan.
16. Ijin isolasi selesai

## CHECK LIST no 2

### HOT WORK PERMIT – Tankers (For Hazardous Areas)

VESSEL: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Description and location of work: \_\_\_\_\_

Duration of Permit - From: \_\_\_\_\_ To: \_\_\_\_\_

Note : Maximum duration of Permit is only 12 hours

ISGOTT – semua pengecekan harus sudah dilakukan sebelum pekerjaan dilakukan

1. Risk Assessment has been Carried out untuk pekerjaan panas.
2. Menulis rencana persiapan untuk melakukan pekerjaan perbaikan, didiskusikan dan disetujui oleh semua pihak yang memiliki tanggung jawab dalam hubungannya dengan pekerjaan panas.
3. Area clear dari bahan yang mudah terbakar, diperiksa dengan gas indikator combustible untuk uap hidrokarbon dan ditemukan dalam pengukuran kurang dari 1% LFL.
4. Cargo dan slop tanks dengan radius paling tidak 30 meter disekitar area pekerjaan harus bersih dan bebas gas atau kosong, ataupun dibersihkan dari hidrokarbon kurang dari 2% dari volume dan di inerted
5. Semua tanki cargo inerted, berdekatan dengan tanki-tanki ballast, area bebas gas dan aman
6. Yang berdekatan dengan tangki bahan bakar harus aman (uap terbaca kurang dari 1% LFL) atau bersih untuk pekerjaan panas (untuk pekerjaan pada bulkhead atau 500 mm dari bulkhead)
7. Ventilasi yang memadai
8. Tidak ada operasi transfer cargo oil, tank cleaning, purging, gas freeing, inerting or ballast



9. Semua cairan dan uap pipa diisolasi ke area
10. Peralatan welding/gas-cutting dalam kondisi bagus dan semua kelistrikan diarea kerja terisolasi
11. Peralatan pemadam api dibuat siap & water running
12. Fire watchmen posted/ instructed
13. Peralatan pelindung untuk orang-orang yang dipakai untuk melakukan pekerjaan panas harus dalam kondisi yang baik
14. Komunikasi didirikan antara fire watchman dan bridge.
15. Keadaan darurat didiskusikan.
16. Apakah ijin kerja panas telah dikeluarkan sebelum pekerjaan dilakukan.
17. Fekuensi pengujian atmospher dari area kerja yang ditetapkan.  
catatan: waktu dan hasil pengujian selanjutnya yang akan dimasukkan di belakang log ini
18. Persetujuan dari pelabuhan diperoleh (yang mana berlaku yaitu pada pelabuhan, dll)
19. Diperoleh injin dari perusahaan/kantor
20. Isolation permit complete

SPECIAL CONDITIONS / PRECAUTIONS: _____	
Person carrying out Hot Work: _____	
Person Responsible for Hot Work: _____	
Officer designated to monitor the Hot Work Plan _____	
OFFICER IN CHARGE OF SAFETY	
NAME: _____	RANK: _____
APPROVAL GRANTED	
SIGNATURE: _____	MASTER: _____
DATE & TIME: _____	DATE & TIME: _____

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Fahreza Yosi Andraputra, lahir pada tanggal 18 september 1993 di Surabaya. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara yang lahir dari kedua orang tua yang bernama Yoni Junaidi dan Farida Susiaty dan bertempat tinggal di Surabaya. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari pendidikan TK-AI Ikhlas Surabaya lulus pada tahun 1999 kemudian dilanjutkan dengan pendidikan sekolah dasar 486 Surabaya hingga tahun 2005 kemudian dilanjutkan di pendidikan SMP N 10 Surabaya hingga tahun 2008 kemudian dilanjutkan pendidikan di SMA N 13 Surabaya hingga tahun 2011, dan akhirnya penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institute Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dan dengan rahmat ALLAH SWT penulis dapat menyelesaikan pendidikan S1 di ITS dengan baik.